

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2010

Jan Möbius

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: Textilní materiály a zkušebnictví

**Dynamicko - mechanické vlastnosti kompozitních
materiálů s krátkovlákným čedičem**

**Dynamic – mechanical properties of composite
materials with short fibres basalt**

Jan Möbius

577

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslava Maršálková, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran: 65

Počet obrázků: 48

Počet tabulek: 8

Počet příloh: přílohy jsou pro jejich obsáhlost umístěny na přiloženém CD

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra textilních materiálů

Akademický rok:

ZADÁNÍ

BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená *diplomová (bakalářská)* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou (*bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové (*bakalářské*) práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové (*bakalářské*) práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové (*bakalářské*) práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne 21. prosince 2010

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Miroslavě Maršálkové, Ph.D. za pomoc a odborné vedení při zpracování zadaného tématu.

Nemalé poděkování si zaslouží moje přítelkyně, která mi pomáhala při zpracování a také mé rodině, která stála při mně v tomto období.

ANOTACE

Předložená bakalářská práce se zabývá využitím odpadových čedičových vláken v kompozitu. Z tohoto důvodu je experiment sestaven tak, že odpadový materiál je smíchán spolu s Lukosilem M130 a z výsledného materiálu jsou pak připraveny vzorky o různých tloušťkách u kterých jsou zkoumány výsledné vlastnosti kompozitu.

V teoretické části jsou zpočátku obecně charakterizovány vlastnosti kompozitních materiálů. Podrobněji je zde popsána výroba, použití a vlastnosti čedičových vláken, ale také Lukosil M130 využit v matrici.

Experimentální část je zaměřena na přípravu a výrobu kompozitního materiálu z krátkovlákného čedičového odpadu a také na zkoušení připraveného materiálu pomocí dynamicko – mechanické analýzy.

KLÍČOVÁ SLOVA: kompozitní materiály,
čedičová vlákna,
dynamicko – mechanická analýza

ANNOTATION

This thesis deals with usage of waste basalt fibres in composite. Therefore the experiment was assembled so that waste material is mixed with Lukosil M130 and samples of varied thickness are prepared. The samples are subsequently examined and result features are obtained.

In the beginning of the theoretical part are characterized composite materials attributes. Production, usage and attributes of basalt fibres are described in depth. Moreover, the usage of Lukosil M130 in a die.

Experimental part focuses on the preparation and production of composite material made of shortfibre basalt waste. This part also illustrates testing of the prepared material using dynamic-mechanical analysis.

KEY WORDS: composite materials
basalt fiber
dynamic - mechanical analysis

Seznam použitých zkratk a symbolů

l	činná délka [mm]
b	šířka vzorku [mm]
h	výška vzorku [mm]
T	teplota [°C]
f	frekvence [Hz]
t	čas [min]
E^*	komplexní modul E [MPa]
E'	reálná část modulu E [MPa]
E''	imaginární část modulu E [MPa]
δ	ztrátový uhel [°]
$tg\delta$	ztrátový činitel [-]
λ	amplituda [mm]

Obsah

1. Úvod	11
2. Kompozity	12
2.1. Synergický efekt	12
2.2. Dělení kompozitů	13
2.2.1. Dělení podle velikosti	13
2.2.2. Dělení podle druhu matrice.....	13
2.2.3. Dělení podle druhu výztuže	14
2.3. Vlákenné výztuže.....	14
2.4. Druhy textilních vláken pro kompozity	15
2.5. Vlákenné produkty pro textilní kompozity.....	16
2.6. Vlastnosti vláknových kompozitů	17
2.7. Použití kompozitů.....	17
3. Čedičová vlákna.....	18
3.1. Základní materiál pro výrobu	18
3.2. Složení čediče	18
3.3. Výroba čedičových vláken	19
3.3.1. Výroba kontinuálních čedičových vláken	19
3.3.2. Výroba krátkých čedičových vláken.....	20
3.4. Vlastnosti čedičových vláken.....	21
3.5. Použití čedičových vláken.....	23
3.5.1. Možnosti využití.....	24
3.6. Vliv čedičových vláken na člověka.....	24
3.7. Recyklace čedičových vláken.....	25
4. Lukosil M 130	26
5. Experimentální část	28
5.1. Příprava vzorků.....	28
5.1.1. Příprava formy	28
5.1.2. Postup výroby vzorků	29
5.1.3. Příprava vzorků pro měření	32
5.2. Hodnocení vlastností kompozitních materiálů	34
5.2.1. 3 – Point bending na dynamicko – mechanické analýze	34
5.3. Postup měření pro základní čelist:	39

5.4. Postup měření pro novou čelist:	39
6. Diskuze výsledků	40
6.1. Naměřené hodnoty	40
6.2. Vyhodnocení závislosti dynamicko - mechanických vlastností na výšce testovaného vzorku.....	43
6.3. Vyhodnocení dynamicko - mechanických vlastností v závislosti na změně amplitudy..	47
6.4. Vyhodnocení vlivu postupně zvyšující se amplitudy	50
6.5. Detailní pohled na lom vzorků	52
6.6. Ukázka grafů z DMA grapher.....	56
7. Závěr	61
8. Použitá literatura.....	63
9. Seznam příloh.....	65

1. Úvod

S vyšším nárůstem požadavků na nové výrobky z textilních materiálů, je zapotřebí hledat stále nové oblasti využitelnosti jako jsou např. kompozitní materiály.

Vzhledem k vysokým nárokům odběratelů na fyzikální, chemické a tepelně odolné technické materiály je zapotřebí se této oblasti také věnovat. Velkou část této oblasti dovedou právě uspokojit vlákna čedičová díky své fyzikální, chemické a tepelné stálosti. Čedičová vlákna předčí svými vlastnostmi vlákna skleněná a azbestová, které začínají úspěšně nahrazovat. Vlákna skleněná, především svojí přijatelnější cenou, a vlákna azbestová hlavně kvůli své zdravotní nezávadnosti, protože vlákna azbestová jsou karcinogenní.

V teoretické části bakalářské práce je popisován kompozitní materiál jeho vlastnosti, výroba a použití. Také je zde popisováno složení čediče, jeho zpracování, vlastnosti vláken a jejich využitelnost v praxi. V další kapitole jsou popsány vlastnosti a využití Lukosilu M 130, který byl použit jako matrice do kompozitu.

V experimentální části je popsána výroba zkoušeného kompozitu, popis použitého přístroje na 3 – bodový ohyb, na kterém byly prováděny zkoušky. Je zde vypracován jednoduchý popis postupu měření na stroji.

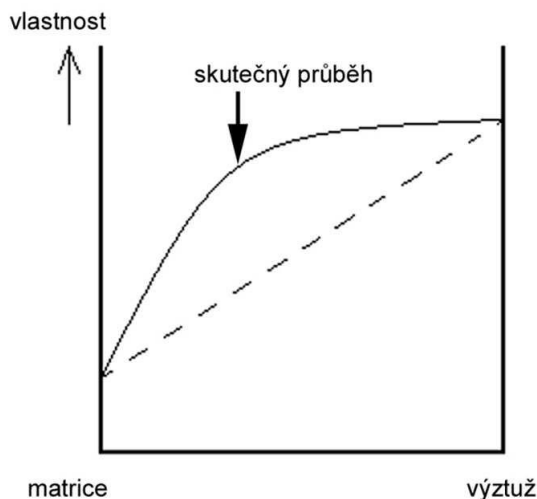
V poslední části jsou uvedeny naměřené hodnoty, porovnány mezi sebou a znázorněny v grafech. V závěru je diskuze o výsledcích a využití zkoušeného kompozitu.

2. Kompozity

Kompozitní materiály jsou heterogenní materiály skládající se ze dvou nebo více složek. Tyto složky se liší svými fyzikálními, mechanickými a chemickými vlastnostmi. Složka z tužšího nespojitelného materiálu se nazývá výztuž a složka z poddajnějšího materiálu, který vše spojuje, se nazývá matrice. Materiál se může nazývat kompozitem, pokud je vytvořen smícháním minimálně dvou složek a podíl výztuže musí být větší než 5%. Vlastnosti výsledného kompozitu jsou vyšší, než když se jednotlivé vlastnosti sečtou. Pro kompozitní materiály je tedy charakteristický synergický efekt. [2, 3, 6]

2.1. Synergický efekt

Synergický efekt vznikne, když jednotlivé složky navzájem spolupracují, tj. alespoň jedna vlastnost kompozitu musí být lepší, než je pouhý průměr vlastností jednotlivých složek kompozitu. Tento efekt lze vysvětlit jako situaci, kdy výsledný celek vlastností je vyšší než pouhý součet vlastností jednotlivých složek. Platí tedy, že $1+1=3$. Při navrhování kompozitů vždy hledáme nejvhodnější uspořádání složek tak, aby byl synergický efekt co nejvyšší. [4, 7]



Obr. 2.1: Synergické chování složek kompozitu [4]

2.2. Dělení kompozitů

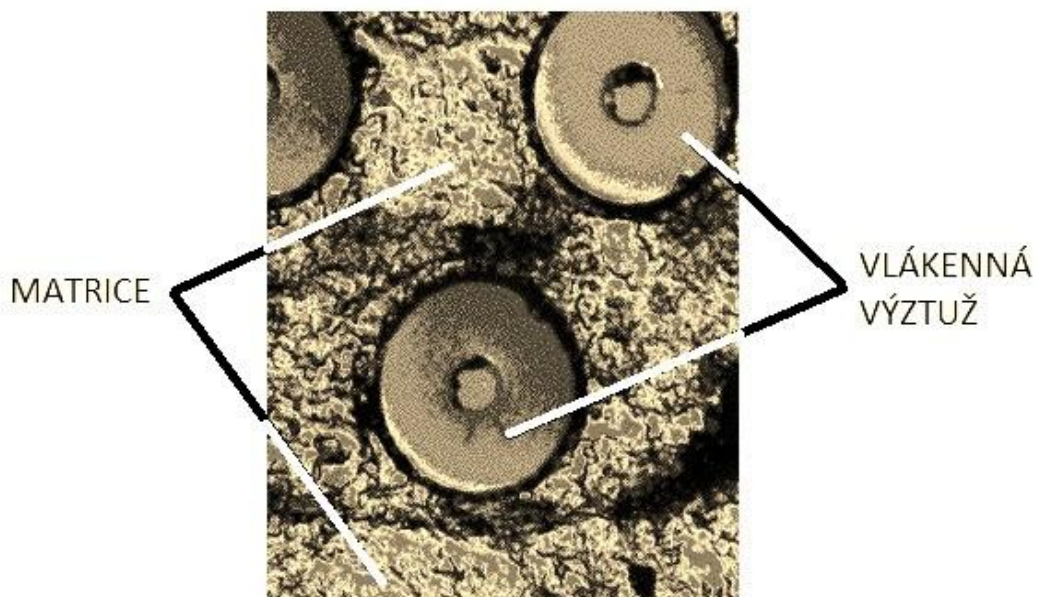
- Podle velikosti
- Podle druhu matrice
- Podle druhu výztuže

2.2.1. Dělení podle velikosti

- Makrokompozity – \varnothing výztuže v řádech $10 - 10^2$ mm
- Mikrokompozity – \varnothing výztuže v řádech $10 - 10^2$ μ m
- Nanokompozity – \varnothing výztuže v řádech nm

2.2.2. Dělení podle druhu matrice

- Polymerní (reaktoplastická nebo termoplastická)
- Kovová
- Skleněná
- Sklokeramická
- Keramická
- Uhlíková



Obr. 2.2: Mikroskopický pohled na řez vlákeného kompozitu [4]

2.2.3. Dělení podle druhu výztuže

- Částicové
 - Pravidelné tvary
 - Nepravidelné tvary
- Vlákenné
 - Dlouhovláknové
 - Krátkovláknové
- Kombinované
 - Kombinace vláken i částic [3, 4]



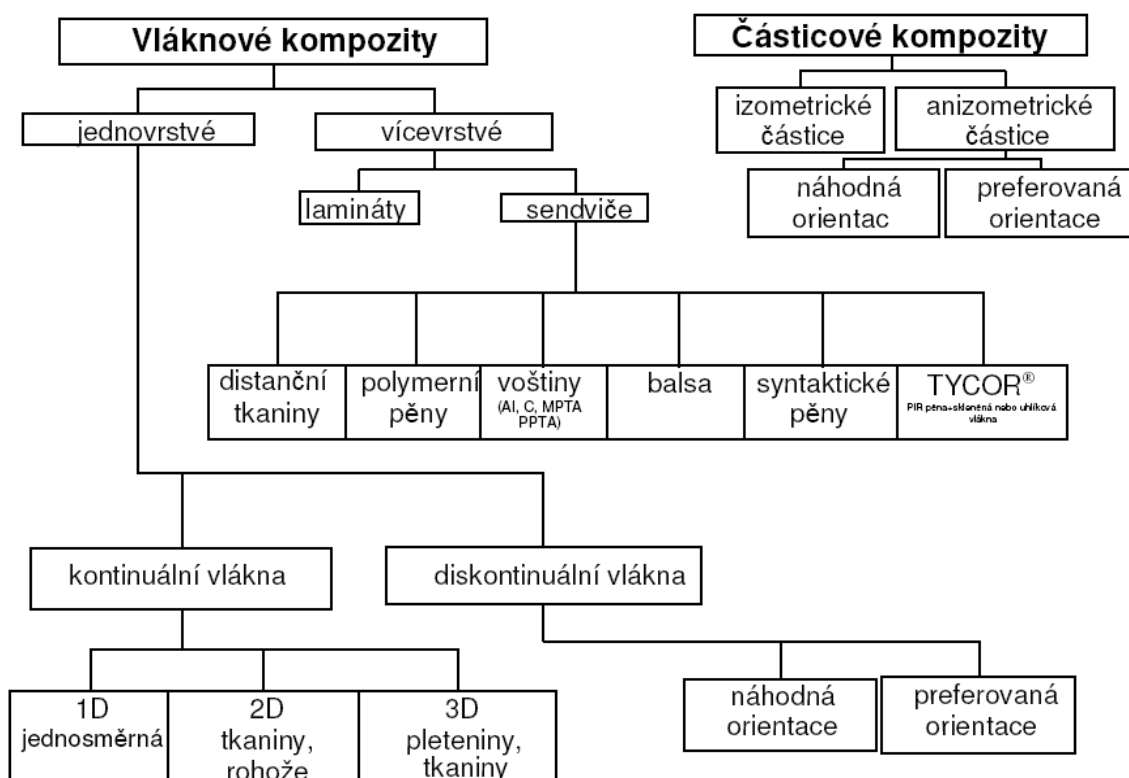
Obr. 2.3: Rozdělení kompozitních materiálů [2]

2.3. Vlákenné výztuže

- Jednovrstvé
 - a) Dlouhovláknové
 - Jednosměrné vyztužení
 - Dvousměrné vyztužení
 - b) Krátkovláknové
 - Nahodilá orientace
 - Přednostní orientace
- Mnohovrstvé
 - a) Lamináty – kompozit, jehož materiály složek jsou v každé vrstvě stejné
 - b) Hybridní lamináty – kompozit, který je v jednotlivých vrstvách tvořen různými složkami

2.4. Druhy textilních vláken pro kompozity

Pro kompozity s textilní výztuží se nejčastěji používají vlákna skleněná, uhlíková, polymerní, keramická, bórová, kovová, čedičová, proteinová, rostlinná. Charakteristickými vlastnostmi pro tato vlákna jsou vysoká tuhost, pevnost a teplotní stabilita. Nejpoužívanější matricí pro tato vlákna je polymerní matrice. Textilní vlákna se používají do kompozitů pro zesílení, zvyšují tuhost a snižují tepelnou roztažnost a hmotnost výsledných výrobků. [5]



Obr. 2.4: Rozdělení kompozitních materiálů

2.5. Vlákenné produkty pro textilní kompozity

Sdružením elementárních vláken vznikají prameny. Ty jsou dále zpracovány na následující polotovary:

- **Sekané prameny** – jsou určeny pro přípravu lisovacích a vstřikovacích směsí, prameny jsou nasekány do potřebné délky
- **Mletá vlákna** – mletím lze získat krátká vlákna jen v případě křehkých vláken
- **Prameny** – bez zákrutů
- **Rovingy (pramence, kabílky)** – jsou sdružené prameny s nulovým nebo nízkým počtem zákrutů (max. 40 zákrutů/m) pro výrobu profilů tažením, pro navíjení a pro výrobu prepregů. Jsou dodávány na válcových cívkách o větší hmotnosti. Pro výrobu tkanin jsou rovingy dodávány na menších cívkách s kónickým zakončením. Jemnost rovingu je udávána také v tex nebo v den.
- **Jednoduchá příze a kablovaná příze** – vzniká zakrucováním pramenů a jejich družením, používá se pro výrobu technických tkanin. Návin příze má kónický tvar.
- **Rovinové tkaniny** – tkané z rovingů, jsou určeny pro kontaktní laminování, pultruzi, navíjení a výrobu tkaninových prepregů.
- **Tkaniny z příze** – nejsou většinou určeny pro výrobu kompozitních konstrukcí, ale slouží jako izolační, filtrační tkaniny a geotextilie.
- **Rohože** – jsou netkané textilie, rouna. Tvoří je v rovině ležící nahodile uspořádaná kontinuální nebo na větší délky (cca 25 – 50 mm) sekané prameny. Sekaná vlákna jsou v rohoži spojena polymerními pojivy, rozpustnými v rozpouštědlových pryskyřicích. Použije-li se k výrobě rohoží kontinuálních vláken, není zapotřebí udržet jejich vzájemnou polohu pojivem (jsou vzájemně propletena).
- **Prepregy** – jsou různě široké role nebo kotouče, obsahují buď paralelně uspořádané rovingy, tkaniny nebo rohož a polovytvrzenou reaktoplastickou nebo termoplastickou matrici. Podobným způsobem je možné vyrobit pramenový nebo rovingový prepreg. [3]

2.6. Vlastnosti vláknových kompozitů

Kompozitní materiály jsou v podstatě „šité na míru“ konečné aplikaci nejen strukturou a vlastnostmi, ale i výrobní technologií. Každý kompozitní materiál představuje vlastní technologii výroby, složení, poměr matrice a výztuže.

V závislosti na složení a poměru se dále odvíjí vlastnosti jednotlivých kompozitů.

Základní vlastnosti

- Vysoká pevnost
- Nízká hmotnost
- Odolnost proti korozi
- Tepelné a požární vlastnosti
- Elektrické vlastnosti – nevodivost, elektromagnetická transparentnost
- Snadné opracování
- Snížení nákladů na údržbu

2.7. Použití kompozitů

- Automobilový průmysl
- Letecký průmysl
- Stavebnictví
- Chemický průmysl
- Elektrotechnika [6, 8]

3. Čedičová vlákna

3.1. Základní materiál pro výrobu

Vlákna na bázi tavených hornin představují v současnosti velmi používanou skupinu silikátových materiálů, která našla své uplatnění v řadě průmyslových odvětví. Základem všech těchto výrobků jsou přírodní horniny, které se buď samostatně, nebo spolu s různými korekčními složkami taví. Vzniklá tavenina je zpracovávána rozvlákňováním.

Pro přípravu silikátové taveniny lze využít celé řady přírodních hornin. V současnosti jsou jednoznačně nejpoužívanějšími horninami bazaltoidy (olivinické bazalty, nefelinické bazanity), známo je však také užití fonolitů (znělců), granitů, opuk nebo amfibolitů.

Charakteristickým znakem čedičů bývá sloupcovitá odlučnost (obr. 3.1 a 3.2). Bazalty představují jednu z nejběžnějších výlevných hornin na současném zemském povrchu.

[9]



Obr. 3.1: Čedičové varhany [9]



Obr. 3.2: Detail čedičových sloupců [9]

3.2. Složení čediče

Čedič se skládá z několika složek. Nejvíce zastoupenou složkou je oxid křemičitý. SiO_2 je zde zastoupen přibližně v rozmezí 43,3 – 47 %. Dále je zde obsažen oxid hlinitý (Al_2O_3) v rozmezí 11 – 13 %. Oxid vápenatý (CaO) je zde zastoupen přibližně 10 – 12 %, podíl oxidu hořečnatého (MgO) je mezi 8 – 11 %. Ostatní oxidy mají podíl nižší než 5 %.

Podle obsahu oxidu křemičitého se čediče rozdělují do tří skupin, a to:

- bázické, neboli alkalické čediče (s obsahem SiO_2 do 42 %),
- slabě kyselé čediče (s obsahem SiO_2 v rozmezí od 43 – 46 %),
- kyselé čediče (s obsahem SiO_2 nad 46 %).

Základní hmota čediče je tvořena:

- pyroxeny – augit, titanaugit,
- plagioklasy – labradorit, zbornit,
- olivín.

Pyroxeny tvoří cca 50 % hmotnosti, jsou to metasilikáty, pro které je charakteristická téměř dokonalá štěpnost.

Plagioklasy patří mezi živce. Tvoří asi 30 % hmotnosti.

Olivín je minerál s proměnlivým podílem železa a hořčíku. Tento podíl je závislý na podmínkách při vzniku čediče. Olivín tvoří asi 20 % hmotnosti. [1, 9, 11]

3.3. Výroba čedičových vláken

Technologie výroby čedičových vláken se liší podle toho, zda vyrábíme kontinuální nebo krátká čedičová vlákna.

3.3.1. Výroba kontinuálních čedičových vláken

Pro výrobu kontinuálních čedičových vláken je nutno zvolit teplotu vyšší než 1300°C , ta se pohybuje cca od 1500°C do 1700°C . Hornina je roztavena na požadovanou teplotu a následně protlačována tryskami a dloužena cca při teplotě 1300°C . Poté dochází k pomalému nebo rychlému zchlazení.

Ne všechny čedičové horniny jsou vhodné pro výrobu vláken. Produkt pro výrobu musí splňovat jistá požadavky. Jeho chemické složení musí být konstantní s obsahem SiO_2 cca 46%. Důležitá je také schopnost tání bez pevných zbytků a tuhnutí bez výrazné krystalizace.

Kontinuální čedičová vlákna ve formě technického hedvábí jsou dále zpracovávána na příze – rovingy, skané příze, družené aj. Dále se tento polotovár zpracovává do podoby plošných textilií, jako jsou tkaniny, pleteniny a netkané textilie. [11, 12]

3.3.2. Výroba krátkých čedičových vláken

Nejobvykleji používanými minerálními vlákny jsou v současnosti vlákna z čedičovo-struskové směsi, tvořené přibližně 75 – 80 % čediče a 20 – 25 % strusky. Příklady těchto vláken jsou např. vlákna Rockwool nebo Orsil.

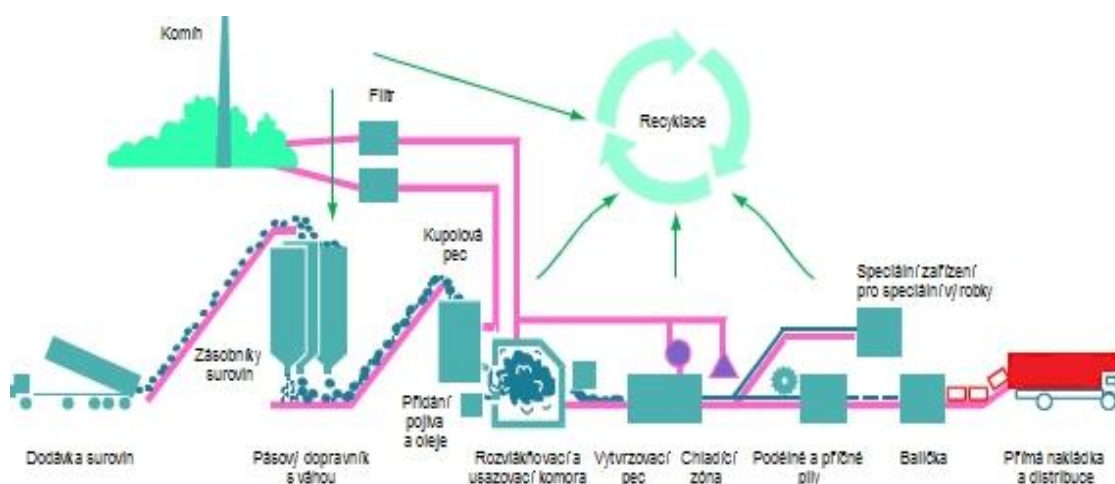


Obr. 3.3: Detail zvukově a tepelně izolační desky z čedičových vláken [9]

Surovinová směs se taví v tzv. kupolové peci při teplotách 1350 – 1450°C. Tavenina následně vytéká na rotující válce - rozvlákňovací kotouče. Vlivem odstředivé síly se kapičky taveniny v proudu ofukovacího vzduchu změny v jemné vlákno. Chladnější kapičky se již nemohou protáhnout a odletují od kotoučů jako drobná zrnka (tzv. granálie). Granálie z větší části padají do spodní části rozvlákňovacího stroje, odkud jsou, spolu s dalšími nerozvlákněnými podíly, vráceny zpět do pece. Rozvlákněná hmota spolu s určitým podílem granálií je vzduchem unášena do usazovací komory. V usazovací komoře jsou vlákna ještě za vznosu zkrápěna vodním roztokem pojiva (fenolformaldehydového rezolu), vodoodpudivými přísadami (hydrofobizačním, silikonovým olejem), protiplísňovými a dalšími přísadami. Smočená vlákna se následně v usazovací komoře rovnoměrně usadí ve formě pásu (vrstvy), který pokračuje do vytvrzovací komory, kde se spolu s pojivem a všemi přísadami teplem vytvrzuje. Ve vytvrzovací komoře dochází k odparu vody a polykondenzaci fenolformaldehydového pojiva. Teplota ve vytvrzovací komoře se pohybuje v rozmezí 180 - 220°C.

Z vytvrzovací pece vychází pás kamenné vlny přes přítlačné zařízení, které spolu s rychlostí posuvu pásu a intenzitou přísunu vláken zajišťuje požadovanou objemovou hmotnost a tloušťku konkrétního výrobku. Přes chladicí komoru se nekonečný pás kamenné vlny dostává k diamantové pile, která ořezem na danou šířku výrobek formátuje. Ořezané okraje se recyklují, tj. vrací do tavící pece.

Nařezané výrobky postupují buď jako polotovary na další linku pro speciální výrobky (potrubní pouzdra, kaširované desky, lamelové rohože apod.), nebo přes baličku na pásový dopravník směřující přímo na expedici. [9]



Obr. 3.4: Schéma technologie výroby čedičovo-struskového vlákna [9]

3.4. Vlastnosti čedičových vláken

Vlastnosti čedičových vláken předčí v mnohých ohledech ostatní vlákna díky svým mechanickým, fyzikálním a chemickým vlastnostem, a to je základní předpoklad k jejich masivnějšímu rozšíření v technické praxi. Neméně důležitou vlastností v dnešní době ve srovnání s vlákny podobného charakteru je jejich cena, ekologie, recyklace, dopad na životní prostředí a s tím je spojena méně nákladná výroba a větší využitelnost. [10]

Barva čedičových vláken je hnědá, hnědošedá, hnědozelená, zelená. Barva závisí na obsahu jednotlivých oxidů v surovině. Tato vlákna jsou nehořlavá, mají minimální nasákavost. Výhodou těchto vláken je jejich velký tepelný rozsah použitelnosti, který se pohybuje v rozmezí cca od -200°C do 800°C . Čedičová vlákna se vyznačují svoji

chemickou odolností ve vodě i v alkáliích. Tato vlákna mají nízkou tepelnou vodivost, vysoký koeficient zvukové pohltivosti a vysoký elektrický odpor. Dále tato vlákna mají dobrou tepelnou odolnost, odolnost proti UV záření a jsou odolná proti plísním a jiným mikroorganismům. Tato vlákna se vyrábějí s minimálním průměrem 9 μm . [13]

Fyzikální vlastnosti

- nízká hustota
- malá navlhavost (minimální nasákavost)
- vysoký modul pružnosti
- výborná pevnost v tahu
- malá změna pevnosti v tahu ve vlhku

Tab. 3.1: Porovnání fyzikálních a mechanických vlastností čedičových a skleněných vláken [10]

Vlastnosti fyzikální	Jednotka	Čedič	Sklo
Hustota (při 20°C)	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	2900	2600
Navlhavost	%	0,5	1,0
Modul pružnosti v tahu	MPa	100000	70000
Pevnost v tahu	MPa	1850 - 2150	1850 – 2150
Pevnost v tlaku	MPa	300	300

Chemické vlastnosti

- malý úbytek hmotnosti při hydrolýze
- dobrá odolnost proti vodě, většině alkálií, organickým a anorganickým kyselinám, organickým rozpouštědlům, většině chemikálií a jiným agresivním látkám

Tab. 3.2: Porovnání chemických vlastností čedičových a skleněných vláken [10]

Vlastnosti chemické	Jednotky	Čedič	Sklo
Úbytek hmotnosti při 100°C za 3 hodiny			
v H_2O	%	99,8	99,3
v 2N HCl	%	81,8	53,9
Měrná tepelná vodivost	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	0,027 až 0,033	0,029 až 0,035

Tepelné vlastnosti

- pracovní teplota (dobrá tepelná odolnost, velký tepelný rozsah použitelnosti)
- měrná tepelná vodivost (nízká)
- nehořlavost a nízký obsah spalin (díky čemuž jsou čedičová vlákna více ekologická než vlákna skleněná)

Tab. 3.3: Porovnání tepelných vlastností čedičových a skleněných vláken [10]

Vlastnosti tepelné	Jednotky	Čedič	Sklo
Pracovní teplota	°C	-200 až +800	-60 až +460
Měrná tepelná vodivost	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	0,027 až 0,033	0,029 až 0,035

Elektrické a další vlastnosti

- specifický odpor (vysoký elektrický odpor)
- vysoká schopnost pohltit zvuk
- odolnost proti eroznímu prostředí, proti UV záření, proti plísním a jiným mikroorganismům

Tab. 3.4: Porovnání elektrických vlastností čedičových a skleněných vláken [10]

Vlastnosti elektrické	Jednotky	Čedič	Sklo
Specifický odpor	Ω.m	10 ¹²	10 ¹¹

Čedičová vlákna úspěšně nahrazují vlákna skleněná. Z tabulek č. 3.1 – 3.4 vyplývá, že čedičová vlákna se v mnoha ohledech podobají vláknům skleněným. Čedičová vlákna mají oproti skleněným vláknům lepší fyzikální vlastnosti a cenovou dostupnost.

3.5. Použití čedičových vláken

S využitím čedičových nekonečných vláken a čedičových textilií z nich zhotovených je možno počítat ve všech oblastech, kde se běžně používají skleněná a dříve používala azbestová vlákna. Využití krátkých čedičových vláken se uplatňuje především v podobě tepelněizolační desky pro izolaci šikmých a plochých střech, příček, stropů, stropních podhledů, provětrávaných a kontaktních fasád, sendvičového obvodového zdiva,

podlah. Výrobky mohou sloužit také jako technické izolace pro tepelnou a zvukovou izolaci kotlů, pecí, rozvodů tepelných médií, vzduchotechnických zařízení, komínových těles, výfuků.

3.5.1. Možnosti využití

- plná náhrada skleněných vláken při výrobě tkaniny v perlinkové vazbě pro stavebnictví (omítkové systémy, zalévací hmoty ...)
- geotextilie, armovací tkaniny a vlákna (silniční a železniční stavitelství, živičné povrchy vozovek, lepenky, betonových výrobků ...)
- tepelně-izolační směsi ve stavebnictví pro žáruvzdorné stavební hmoty, plniva do tmelů apod.
- výztužné tkaniny v kompozitech a sekaná vlákna v plastických hmotách
- v různých technických výrobcích (rozbrušovací kotouče, lamináty, brzdové destičky, ...)
- izolace tepelné, zvukové a chemické (stavebnictví, letecký průmysl, elektrárny, automobily, ...)
- filtrování agresivních látek, tkaniny a ucpávkové šňůry v chemickém průmyslu (náhrada za azbestopryžové výrobky), horkovzdušná filtrace
- ochranné žáruvzdorné a kyselinovzdorné pracovní oděvy do provozů s velkou tepelnou zátěží a s agresivním chemickým prostředím (tkaniny s hliníkovou fólií v hutích, ocelárnách)
- pro hasiče a svářeče, v chemických provozech, galvanovnách ...)
- bytové a interiérové nehořlavé textilie (tapety, podkladové textilie ...) [9, 10]

3.6. Vliv čedičových vláken na člověka

Čedičový materiál je při běžném styku zdravotně nezávadný, je chemicky stálý a je určený pro technické použití. Z čedičového materiálu se samovolně neuvolňují žádné škodlivé látky. Čedičová vlákna nejsou fibrogenní ani karcinogenní.

Při práci s čedičovým materiálem je nutno dodržovat základní hygienické podmínky, může dojít k mechanickému podráždění pokožky, očí a horních cest dýchacích. Při dodržení podmínek je možno se těmito mechanickým účinkům vyhnout.

Čedičová vlákna jsou ve formě nekonečných vláken, průměr těchto vláken je 9 - 13 μm , tento průměr se dále neztenčuje ani při jejich zpracování a také se podélně neštěpí.
[10]

3.7. Recyklace čedičových vláken

Základní možnosti recyklace jsou:

- opětovné použití bez úpravy
- regenerace na stejný výchozí produkt (tj. minerální vlákna)
- další využití v jiné výrobě (použití do stavebních materiálů a konstrukcí)

V současnosti se využívají poslední dvě zmíněné varianty opětovného použití materiálu.

Odpady vzniklé při výrobě čedičových vláken lze rozdělit do dvou skupin:

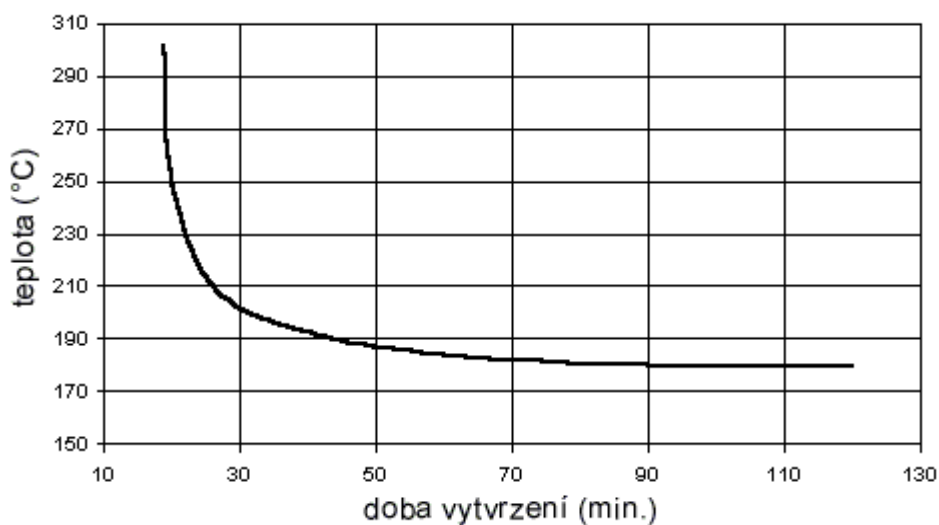
- odpad vzniklý při výrobě v různých fázích
- zabudovaný izolant v objektech

4. Lukosil M 130

Lukosil M 130 patří mezi metylsilikonový lak, který se používá ve formě roztoku silikonové pryskyřice v xylénovém rozpouštědle. Lak zasychá při pokojové teplotě. Po nanesení a vytvrzení vykazuje řadu vynikajících vlastností, jako jsou:

- odolnost ve velkém rozsahu teplot
- hydrofobní vlastnosti
- separační vlastnosti filmů (plastické hmoty, potraviny)
- odolnost proti povětrnosti a UV záření
- možnost modifikace organických pryskyřic

Lukosil M 130 je možné vytvrdit zvýšením teploty bez použití katalyzátoru. Na grafu je znázorněna doba vytvrzení v závislosti na zvýšení teploty dle obr 4.1.



Obr. 4.1: Graf vytvrzování Lukosilu M 130 [14]

Tab. 4.1: Základní parametry Lukosil M 130 [14]

Vlastnosti	Jednotky	Hodnoty
Obsah netěkavých látek	%	50±2
Měrná hmotnost	kg.m ⁻³	1000 - 1020
Viskozita	mPa.s/20°C	30 - 40
onzistence	při 23°C	24 - 51
Číslo kyselosti	Mg KOH/g	0,02
Třída hořlavosti	-	2
Doba schnutí	hod	max 8
Tepelná odolnost	°C	max 230

Za pokojové teploty je Lukosil M 130 nelepivý, pružný, částečně mechanicky a chemicky poměrně odolný film. Tepelným vytvrzením se dosáhne zvýšení jeho tvrdosti, mechanické a chemické odolnosti a stabilizuje se pro trvalé tepelné namáhání.

Uplatnění Lukosilu M 130:

- průmysl nátěrových hmot
- separační přípravek
- elektrotechnika [14, 15]

5. Experimentální část

Úkolem bakalářské práce bylo vytvoření kompozitu, složeného z odpadního krátkovláknenného odpadu čediče spojené pomocí matrice v podobě Lukosilu M130.

V další část se věnuje testům na dynamicko – mechanickém analyzátoru (DMA) a porovnání vlastností jednotlivých vzorků v závislosti na tloušťce materiálu a jeho opětovném nasycení povrchu Lukosilem M130 a vytvrzení v horkovzdušné peci.

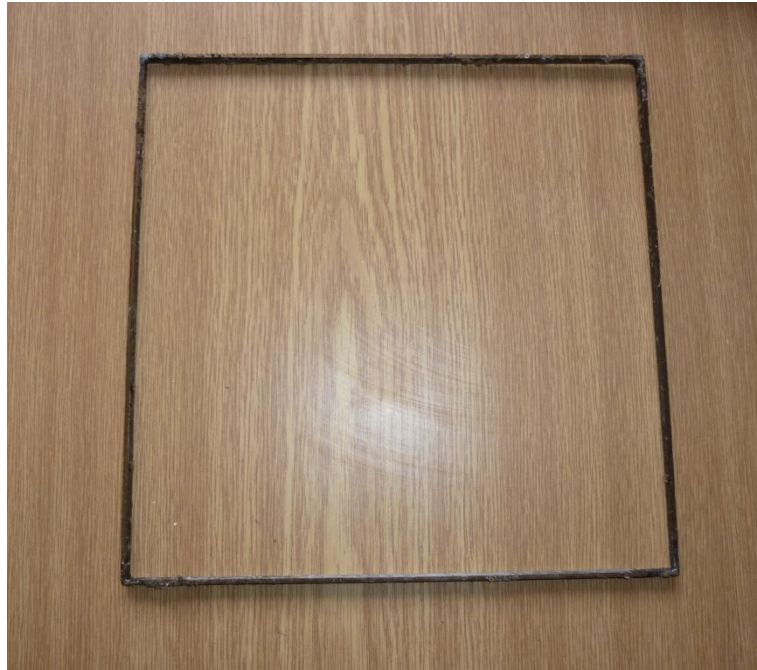
5.1. Příprava vzorků

5.1.1. Příprava formy

Vzorky byly připraveny pomocí formy, která byla tvořena dvěma deskami z plechu o tloušťce 2,5 mm (obr. 5.1). Okraje formy byly tvořeny svařením čtyř kusů plechu o výšce 10 mm, tvořící čtvercový rám o rozměrech 200 x 200 mm (obr. 5.2). V každém rohu plechové desky byl vyvrtán otvor pro stahovací šroub.



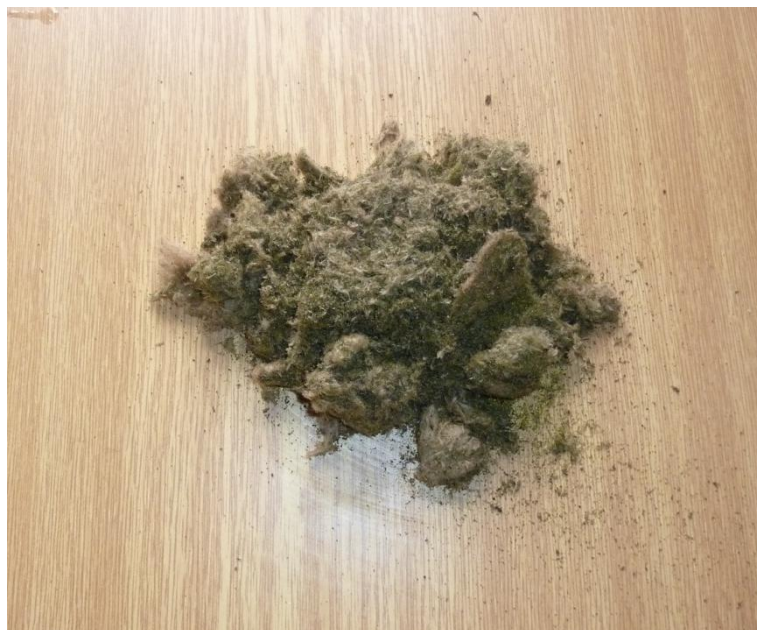
Obr. 5.1: Plechová deska s vyvrtanými díry pro šrouby



Obr. 5.2: Rám formy

5.1.2. Postup výroby vzorků

Vzorek pro zkoušku je tvořen odpadem z čedičových vláken (obr. 5.3), který byl získán od firmy Frýdlantské strojírny RASL a smíchán spolu s Lukosilem M130. Základ formy byl vytvořen tak, že na jednu plechovou desku (obr. 5.1) byl nejprve položen teflonový papír (obr. 5.4), aby se připravovaný kompozit nepřichytil k plechové desce (obr. 5.1). Na desku s teflonovým papírem byl umístěn čtvercový rám (obr. 5.5), aby mohli být vytvořeny pevné okraje formy. [18]



Obr. 5.3: Krátkovláknenný čedičový odpad



Obr. 5.4: Teflonový papír



Obr. 5.5: Forma na desce s teflonovým papírem

Materiál ve formě čedičových vláken byl částečně zbaven nečistot a to jeho prosíváním přes sítko. Pročištěný materiál byl vložen do kádinky a smíchán spolu s Lukosil M130. Důkladným promícháváním pomocí skleněné tyčinky vznikla směs, která byla vrstvena a pěchována do formy (obr. 5.6).



Obr. 5.6: Napěchovaná směs ve formě

Po naplnění formy směsí byl i na druhou desku připevněn teflonový papír proti připečení kompozitu k formě. Forma byla v rozích zajištěna pomocí čtyř šroubů, důkladně utažených, aby byla forma co nejvíce napěchována, zajištěna a vytlačil se přebytek Lukosilu M130. Připravený vzorek byl položen na pečící papír a vložen do horkovzdušné pece na 200°C po dobu 6 hodin na vytvrzení (obr. 5.7).



Obr. 5.7.: Horkovzdušná pec (HS 122 A)

Vytvrzený vzorek byl nechán vychladnout při pokojové teplotě. Po vychladnutí byly povoleny stahovací šrouby a vzorek vyjmut. Vzorek se připekl ke čtvercové formě a tak musel být vyříznut pomocí pilového listu. Z vyříznutého vzorku byla získána kompaktní kompozitní deska.

5.1.3. Příprava vzorků pro měření

Pro měření na stroji DMA byly připraveny z desky vzorky několika typů, vždy přibližně o stejné délce a šířce 100 x 10 mm. Jediný rozdíl ve vzorcích byla výška, která byla stanovena na 2,5; 5 a 7,5 mm (obr. 5.8). Vzorky z desky byly vyrobeny pomocí strojové pily a následným ofrézováním na určitý rozměr vzorku. Materiál se řezal bez větších problémů. U frézování byly zapotřebí nastavit vyšší otáčky, aby se materiál nelepil na frézu.



Obr. 5.8: Ukázka vzorků připravených pro měření

Pro další část experimentu byly připraveny vzorky o stejné velikosti 100 x 10 mm, aby mohly být zkoušky provedeny. Již při prvních testech vzorky o výšce 2,5 mm neustále praskaly a nebylo možno měřit. U silnějších vzorků se měření dalo uskutečnit, nicméně bylo zapotřebí otestovat i vzorky o výšce 2,5 mm a tak bylo zvoleno opětovné vytvrzení všech výšek vzorků pomocí Lukosilu M130. Vzorky byly ponořeny do Lukosilu M130 a opět vytvrzeny v horkovzdušné peci při 200°C po dobu dvou hodin.

5.2. Hodnocení vlastností kompozitních materiálů

Pro experiment byl stanoven jedním měřicí přístroj DMA DX04T, který je umístěn v laboratoři KTM. Zvolená zkouška byla destruktivního charakteru. Jsou zde popisovány dynamicko – mechanické vlastnosti vyrobeného kompozitního materiálu z krátkovláknenného čediče a Lukosilu M130 jako matrice.

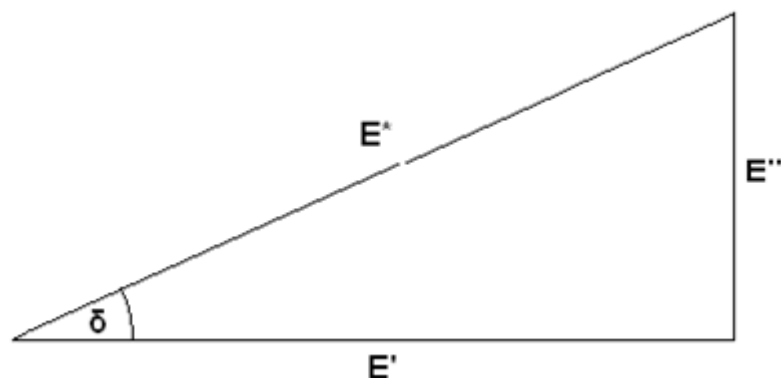
Na stroji byly testovány vzorky o různých tloušťkách. Naměřené hodnoty jsou zde porovnány na dvou různých upínacích přípravcích a také vlivu opětovného nasycení povrchu Lukosilem M130.

5.2.1. 3 – Point bending na dynamicko – mechanické analýze

Dynamicko - mechanická analýza (DMA) slouží k získání charakteristických vlastností pevných látek, která je založena na vyhodnocování dynamicko - mechanických spekter pro jednotlivé materiály specifických vlastností (jsou funkcí specifického relaxačního procesu spojeného s určitým druhem molekulárního pohybu). Tato dynamická spektra se měří jako funkce teploty, frekvence, času, napětí nebo kombinace těchto parametrů. [16]

DMA je jedna z nejcitlivějších a nejpřesnějších technik schopná charakterizovat a interpretovat mechanické chování materiálu. Podstata metody DMA je založena na sledování viskoelastické odezvy materiálu podrobeného malému oscilačnímu napětí. Metoda odděluje viskoelastickou odezvu materiálu na dvě komponenty modulu (E^*): reálná část, která reprezentuje elastický modul (E') a imaginární část, která představuje útlumovou nebo viskozitní složku (E'').

Celkový tzv. komplexní modul je $E^* = E' + iE''$. Tato separace měření do dvou komponent popisuje dva nezávislé procesy uvnitř materiálu: elasticitu (vratná složka) a viskozitu (ztrátová, disipační energie). To je základní princip DMA, který ji charakterizuje na rozdíl do ostatních metod testování mechanických vlastností látek. [17]



Obr. 5.9: Rozklad absolutní hodnoty komplexního modulu [17]

DMA může charakterizovat materiály závislostí modulu a ztrátového úhlu na teplotě (případně na čase, frekvenci). Tím poskytuje údaje o mechanických vlastnostech, které mají přímý vztah ke zpracování a užitným vlastnostem výrobků. DMA se zpravidla používá k identifikaci sekundárních přechodů v polymerních materiálech, ale je schopna zaznamenat i řadu dalších méně intenzivních přechodů odrážejících se v rázové houževnatosti vzorku.

DMA je založena na principu jak mechanických, tak dynamických a tepelných odezev zkoumaného materiálu.

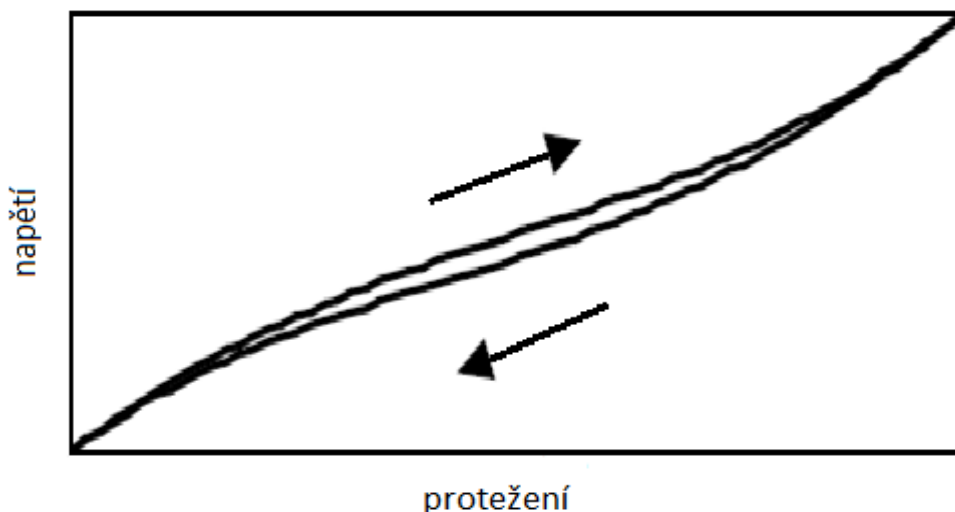
Přístroj DMA DX04T umožňuje měřit celý průběh skutečné síly působící na vzorek a celý průběh deformace vzorku, z těchto hodnot následně vypočítat mnoho údajů, například obě složky komplexního modulu E' , E'' z jejich průběhů ztrátový činitel $\tan \delta$. Ztrátový činitel se vypočítá $\tan \delta = E'' / E'$. Na rozdíl od přístrojů jiných firem (jak uvádí firma R. M. I.) je přístroj schopen zobrazovat hysterezní křivku, ze které lze zjistit energetické ztráty v materiálu.

Hysterezní křivka

Vlákna jsou schopna ve větší nebo menší míře vracet se po deformaci do původních rozměrů a původního tvaru. Cyklickým zatěžováním a odlehčováním vláken zůstává určitá deformace vláken trvalá. Dalším zatěžováním neprobíhá proces deformace vlákna stejně a po uvolnění napětí se vlákno nevrací zpět do původního stavu. Dokonale elastické vlákno by se vracelo stejnou cestou do původního stavu a do

původních rozměrů. U nedokonale pružných vláken se uvolňuje jen část energie vložené do vlákna při deformaci.

Křivky napětí-tažnost jsou při zatěžování vlákna odlišné od křivek napětí-tažnost při uvolňování napětí a vzniká hysterezní smyčka (obr. 5.10). Plocha smyčky hystereze udává rozdíl v množství spotřebované a navrácené energie. Čím je plocha smyčky větší, tím více energie zůstává po deformaci ve vzorku. Energie se mění na teplo.



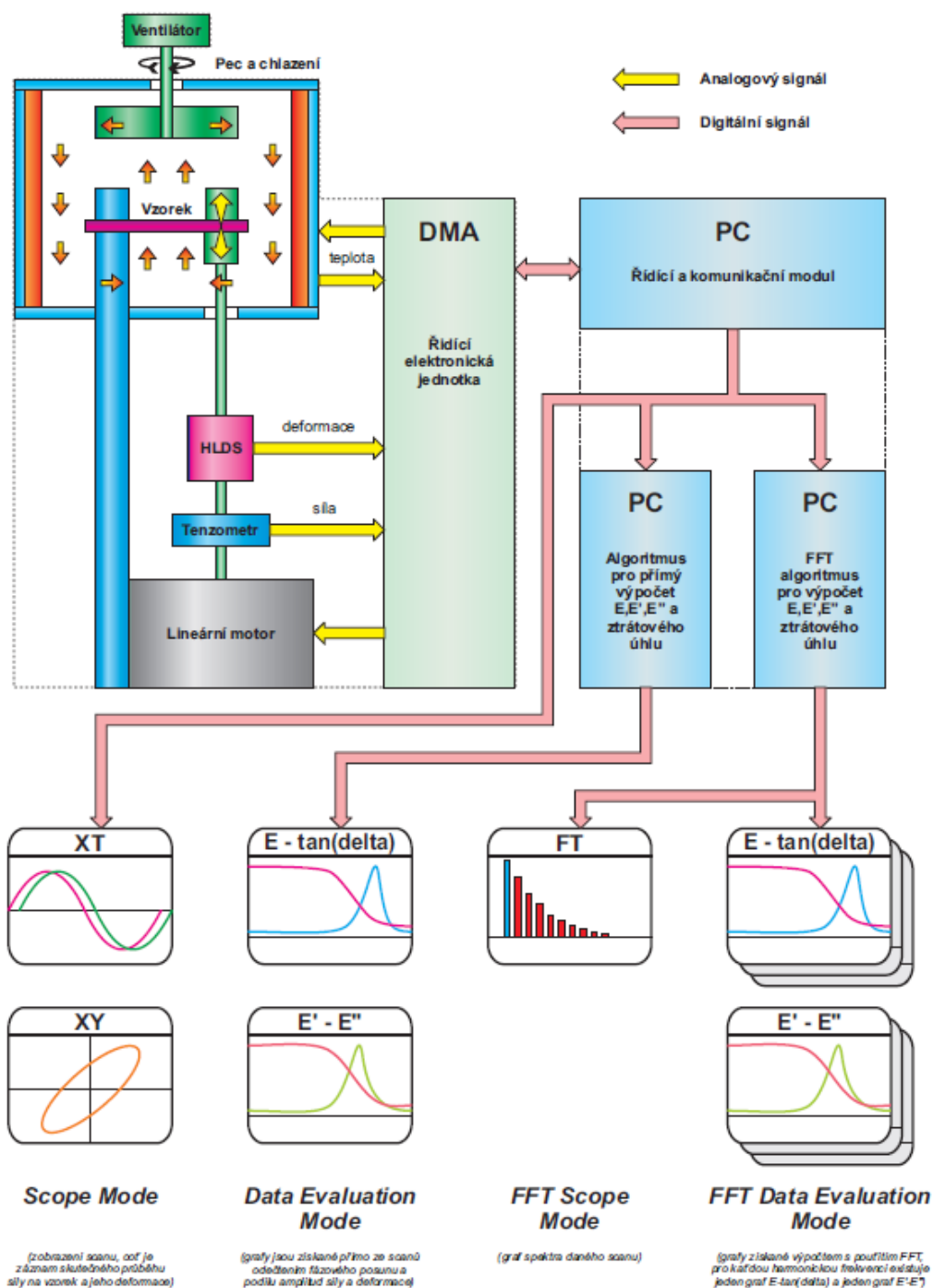
Obr. 5.10: Hysterezní křivka [16]

Přístroj je plně řízen standardním PC (obr. 5.11). Pro tvorbu grafů a vyhodnocení dynamicko -mechanické analýzy je používán program DMA Grapher. Dynamicko -mechanický analyzátor DMA DX04T umožňuje současnou aplikaci dvou různých metod k určení průběhu modulu a ztrátového úhlu.

První metoda je přímé určení modulu z amplitudy kladné a záporné půlvlny síly a deformace (získáme dvě křivky modulu - E_{UP} , E_{DN}) a určení ztrátového úhlu z fázového posunu mezi náběžnými a sestupnými hranami průběhů síly a deformace (získáme opět dvě křivky ztrátového úhlu $tg\delta_{UP}$, $tg\delta_{DN}$), přičemž příslušné dvojice křivek v případě správného měření splývají.

Druhá metoda je založena na zcela odlišném principu - data se zpracují pomocí FFT (Fast Fourier Transform) a výsledkem je průběh modulu a ztrátového úhlu v závislosti na teplotě nebo na čase pro každou harmonickou složku. Porovnání výsledků obou metod již v průběhu měření dává perfektní možnost rychlé a snadné kontroly správnosti měření. [16]

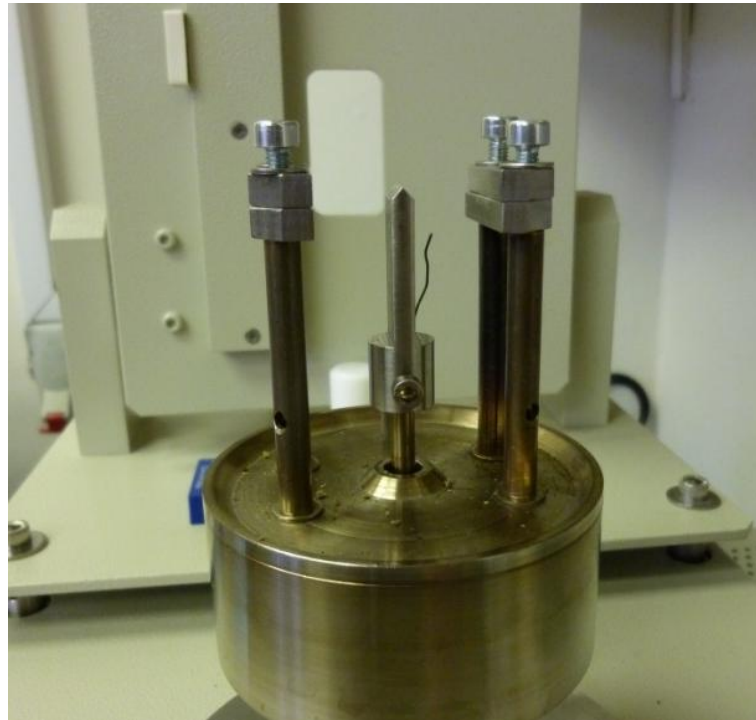
Základem přístroje jsou dvě vyvážená rovnoběžná ramena, uložená na speciálních čepech, umístěných blízko středu ramen. Čepy jsou vysoce přesné torzní pružiny. Mezi ramena se upíná vzorek, který vytváří rezonanční systém tj. rezonanční frekvence závislá na modulu a geometrii vzorku. Celé zařízení je umístěno v termostátovaném prostředí, což umožňuje jak izotermní měření tak měření při změně teploty, obvykle od - 150 °C až 500 °C.



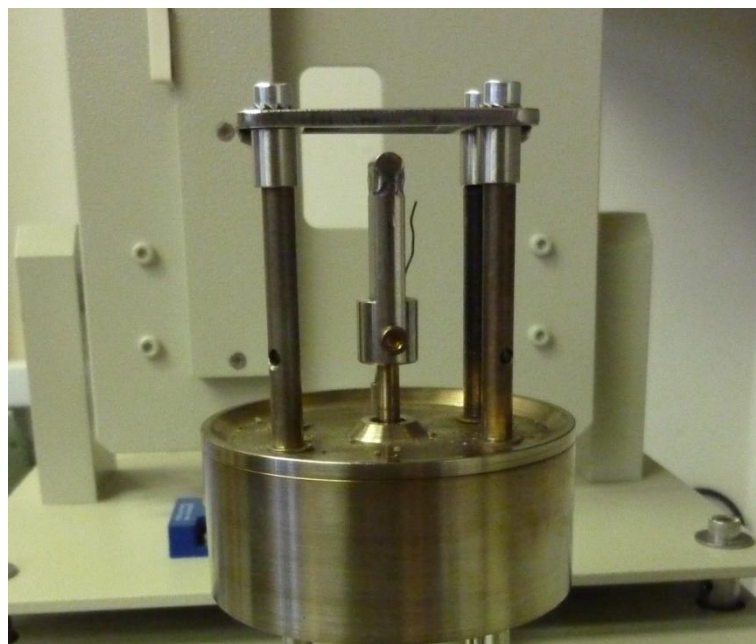
Obr. 5.11: Blokové schéma DMA DX04T [16]

Pro test 3 - bodovým ohybem metodou DMA je zapotřebí zvolit potřebný typ čelistí.

K vypracování experimentu byly k dispozici dva druhy přípravků. První byl k dispozici dle základní nabídky (obr. 5.12) a druhý a byl dodán dodatečně v průběhu testů firmou R. M. I. k porovnání (obr. 5.13).



Obr. 5.12: Základní přípravek pro 3 – bodový ohyb



Obr. 5.13: Nový přípravek pro 3 – bodový ohyb

5.3. Postup měření pro základní čelist:

Vzorky o délce 100 mm byly rozřezány pomocí pilky s diamantovým listem přibližně na dvě stejné poloviny. Zkrácení vzorku bylo nutné z důvodu konstrukce stroje a maximálního využití vzorku. Všechny vzorky byly změřeny pomocí posuvného měřítka a zapsány. U základního typu čelisti je nastavena činná délka na 30 mm, která je dána konstrukcí čelisti. Pro měření bylo zapotřebí zadat do počítače vstupní hodnoty:

- rozměry vzorku (činná délka (l), šířka (b) a výška (h))
- frekvence byla zvolena na 5 Hz
- teplota – cca 23°C (přibližně pokojová teplota)
- maximální deformační amplituda (byly zvoleny limity 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2 mm)

Po zadání všech údajů do počítače byl vzorek upnut do čelistí a zakryt píčkou aby mohl být stroj spuštěn. Doba, po kterou byl vzorek testován, byla 30 minut. Po uplynutí 30 - ti minut byl vzorek vyjmut, pokud nedošlo k jeho destrukci, byla ve stroji provedena změna v maximální amplitudě deformace a se vzorkem se opět dál měřilo. Takto se vše opakovalo pro všechny vzorky jak vytvrzené pouze jednou tak i vzorky s opětovným vytvrzením.

5.4. Postup měření pro novou čelist:

Vzorky o délce 100 mm musely být zkráceny zhruba na 56 mm z důvodu konstrukce příklápěcí píčky a činné délce čelisti. Naměření rozměrů proběhlo stejně jako u základních čelistí. Rozdíl mezi základní a rozšířenou čelistí byl hlavně v konstrukci čelisti, ale také v činné délce ta zde byla 48 mm. Při tomto průběhu měření se zadávaly a měnily stejné hodnoty jako u předchozího měření a to:

- rozměry vzorku (činná délka (l), šířka (b) a výška (h))
- frekvence byla zvolena na 5 Hz
- teplota – cca 23°C (přibližně pokojová teplota)
- maximální deformační amplituda (byly zvoleny limity 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2 mm)

Po zadání všech údajů do počítače byl vorek vložen do čelistí a zakryt píčkou aby mohl být stroj spuštěn. Byly zde stanoveny stejné podmínky pro měření jako u základních čelistí. U tohoto druhu čelisti musely být použity speciální podložky pro zvýšení rámu čelisti. Bez těchto speciálních podložek stroj z konstrukčních důvodů neměřil, jednalo se především o vzorky o výškách 5 a 7,5 mm. Toto platilo pro vzorky jednou vytvrzené i s opětovným vytvrzením.

6. Diskuze výsledků

6.1. Naměřené hodnoty

Tabulky jsou rozděleny do čtyř oddílů. Každý oddíl je označen písmenky **A**, **B**, **C** a **D**. Oddíl **A** označuje vzorky vytvrzené pouze jednou a zkoušené na základní čelisti. Oddíl **B** označuje vzorky s opětovným vytvrzením a zkoušené na základní čelisti. Oddíl **C** označuje vzorky s jedním vytvrzením a zkoušených na novém typu čelisti. Oddíl **D** označuje vzorky s opětovným vytvrzením a zkoušených na novém typu čelisti.

tab. 6.1: vzorky s výškou cca 2,5 mm

typ	amplituda	výška vzorku	šířka vzorku	reálný modul pružnosti	imaginární modul pružnosti	komplexní modul pružnosti	ztrátový činitel
	λ [mm]	h [mm]	b [mm]	E' [MPa]	E'' [MPa]	E [MPa]	$\tan \delta$ [-]
A	0,40	2,45	9,90	1,52E+03	1,93E+02	1,53E+03	1,27E-01
	0,40	2,40	10,00	9,61E+02	1,34E+02	9,70E+02	1,40E-01
	0,40	2,40	9,50	7,23E+02	1,73E+01	7,23E+02	2,39E-02
	průměrné hodnoty			1,07E+03	1,15E+02	1,07E+03	9,70E-02
B	0,40	2,65	9,70	3,36E+03	7,75E+01	3,36E+03	2,31E-02
	0,80	2,65	9,70	3,38E+03	7,57E+01	3,38E+03	2,24E-02
	1,20	2,65	9,70	4,00E+03	9,50E+01	4,00E+03	2,37E-02
	1,60	2,65	9,70	3,70E+03	1,80E+02	3,70E+03	4,87E-02
	2,00	2,65	9,70	2,17E+03	3,62E+00	2,17E+03	1,67E-03
	0,40	2,70	9,85	3,92E+03	1,79E+02	3,93E+03	4,57E-02
	2,00	2,70	9,85	4,33E+03	1,75E+02	4,33E+03	4,05E-02
	0,40	2,60	9,90	3,15E+03	1,39E+01	3,15E+03	4,43E-04
	2,00	2,60	9,90	3,29E+03	1,11E+01	3,29E+03	3,38E-02
	průměrné hodnoty			3,48E+03	9,01E+01	3,48E+03	2,67E-02
C	0,40	2,58	9,90	8,38E+02	4,11E+01	8,39E+02	4,91E-02
	0,40	2,40	9,50	7,23E+02	1,73E+01	7,24E+02	2,39E-02
	0,40	2,45	9,85	6,45E+02	1,63E+01	6,45E+02	2,52E-02
	průměrné hodnoty			7,35E+02	2,49E+01	7,36E+02	3,27E-02
D	0,40	2,50	9,80	1,58E+03	5,58E+01	1,58E+03	3,53E-02
	0,80	2,50	9,80	1,44E+03	3,54E+01	1,45E+03	2,45E-02
	0,40	2,60	9,90	1,82E+03	6,41E+01	1,82E+03	3,52E-02
	0,80	2,60	9,90	1,64E+03	1,23E+01	1,65E+03	7,49E-02
	0,40	2,75	9,70	1,53E+03	1,28E+01	1,53E+03	8,33E-02
	0,80	2,75	9,70	1,35E+03	3,41E+01	1,35E+03	2,53E-02
	průměrné hodnoty			1,56E+03	3,58E+01	1,56E+03	4,64E-02

VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ Z KRÁTKOVLÁKENNÉHO ČEDIČE
Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Katedra textilních materiálů

tab. 6.2: vzorky s výškou cca 5 mm

typ	amplituda	výška vzorku	šířka vzorku	reálný modul pružnosti	imaginární modul pružnosti	komplexní modul pružnosti	ztrátový činitel
	λ [mm]	h [mm]	b [mm]	E' [MPa]	E'' [MPa]	E [MPa]	$\tan \delta$ [-]
A	0,40	4,60	10,10	6,21E+02	2,99E+01	6,22E+02	4,81E-02
	2,00	4,60	10,10	7,93E+02	4,61E+01	7,95E+02	5,80E-02
	2,00	4,95	9,80	1,05E+03	2,29E+01	1,05E+03	1,53E-02
	2,00	5,05	9,80	8,98E+02	2,83E+01	8,99E+02	3,14E-02
	průměrné hodnoty			8,41E+02	3,18E+01	8,42E+02	3,82E-02
B	0,40	5,00	9,90	1,73E+03	1,16E+01	1,73E+03	6,73E-03
	2,00	5,00	9,90	1,65E+03	1,26E+01	1,45E+03	8,73E-03
	2,00	4,95	9,80	1,80E+03	1,14E+01	1,80E+03	6,35E-03
	2,00	5,00	9,70	2,14E+03	2,35E+01	2,14E+03	1,67E-03
	průměrné hodnoty			1,83E+03	1,48E+01	1,78E+03	5,87E-03
C	0,40	4,90	9,95	4,76E+02	2,66E+01	4,77E+02	5,56E-02
	0,40	4,90	9,70	3,79E+02	2,78E+01	3,80E+02	7,32E-02
	0,40	4,90	10,00	3,90E+02	2,54E+01	3,91E+02	6,51E-02
	průměrné hodnoty			4,15E+02	2,66E+01	4,16E+02	6,46E-02
D	0,40	5,00	10,10	1,23E+03	1,56E+01	1,23E+03	1,26E-02
	0,80	5,00	10,10	1,18E+03	3,70E+00	1,18E+03	3,13E-03
	1,20	5,00	10,10	1,18E+03	6,37E+00	1,18E+03	5,40E-03
	1,60	5,00	10,10	1,15E+03	9,42E+00	1,15E+03	8,15E-03
	2,00	5,00	10,10	1,03E+03	3,87E+01	1,03E+03	3,77E-02
	2,00	5,25	9,95	1,24E+03	2,12E+00	1,24E+03	1,71E-02
	2,00	5,00	9,90	1,20E+03	2,80E+01	1,20E+03	2,33E-02
	průměrné hodnoty			1,17E+03	1,48E+01	1,17E+03	1,53E-02

VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ Z KRÁTKOVLÁKENNÉHO ČEDIČE
Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Katedra textilních materiálů

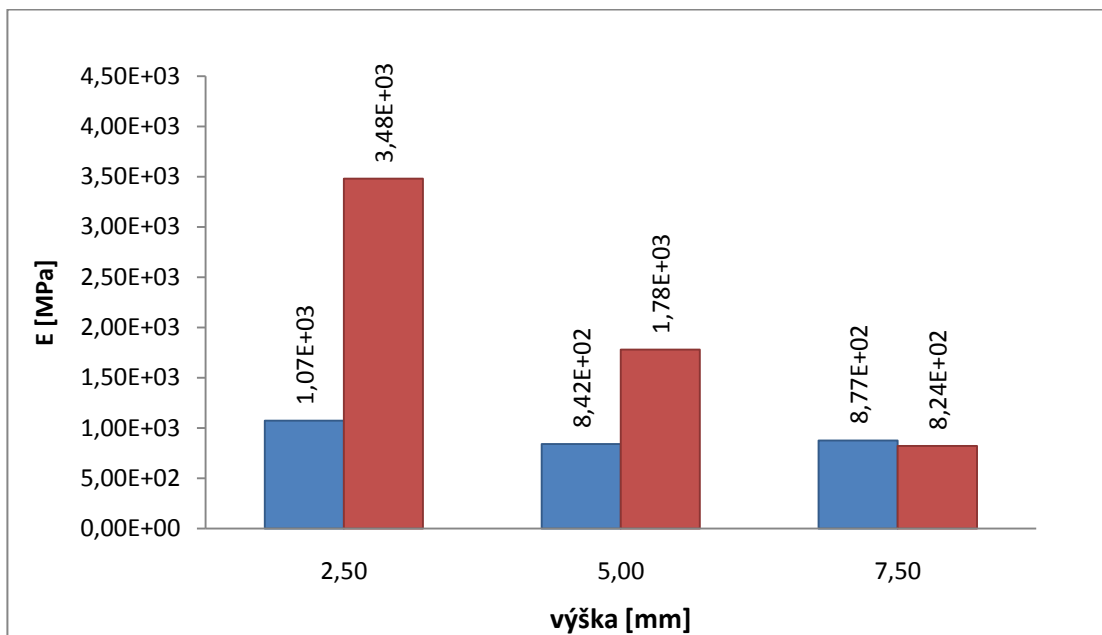
tab. 6.3: vzorky s výškou cca 7,5 mm

typ	amplituda	výška vzorku	šířka vzorku	reálný modul pružnosti	imaginární modul pružnosti	komplexní modul pružnosti	ztrátový činitel
	λ [mm]	h [mm]	b [mm]	E' [MPa]	E'' [MPa]	E [MPa]	$\tan \delta$ [-]
A	0,40	7,40	9,80	9,74E+02	1,72E+01	9,74E+02	1,76E-02
	2,00	7,40	9,80	8,22E+02	1,35E+02	8,33E+02	1,65E-01
	2,00	7,35	9,85	1,09E+03	2,63E+01	1,09E+03	2,41E-02
	2,00	7,40	9,85	6,09E+02	3,66E+01	6,10E+02	6,02E-02
	průměrné hodnoty			8,74E+02	5,38E+01	8,77E+02	6,67E-02
B	0,40	7,60	10,00	1,00E+03	1,26E+01	1,00E+03	1,26E-02
	2,00	7,60	10,00	8,44E+02	1,14E+01	8,44E+02	1,36E-02
	2,00	7,55	10,10	8,16E+02	1,04E+01	8,16E+02	1,28E-02
	2,00	7,65	10,10	6,33E+02	4,01E+00	6,34E+02	6,33E-03
	průměrné hodnoty			8,23E+02	9,60E+00	8,24E+02	1,13E-02
C	0,40	7,35	10,00	5,68E+02	2,63E+01	5,69E+02	4,63E-02
	2,00	7,35	10,00	5,27E+02	1,56E+01	5,28E+02	2,96E-02
	0,40	7,30	10,00	7,25E+02	4,60E+00	7,25E+02	6,36E-03
	2,00	7,30	10,00	7,40E+02	1,20E+01	7,41E+02	1,63E-02
	0,40	7,40	10,00	6,85E+02	1,36E+01	6,85E+02	1,98E-02
	2,00	7,40	10,00	6,89E+02	1,50E+01	6,90E+02	2,17E-02
	průměrné hodnoty			6,56E+02	1,45E+01	6,56E+02	2,33E-02
D	0,40	7,50	10,00	8,99E+02	1,16E+01	8,99E+02	1,29E-02
	0,80	7,50	10,00	9,83E+02	2,69E+00	9,83E+02	2,73E-03
	1,20	7,50	10,00	1,03E+03	1,34E+01	1,03E+03	1,30E-02
	1,60	7,50	10,00	1,07E+03	4,85E+01	1,07E+03	4,53E-02
	2,00	7,50	10,00	1,04E+03	5,85E+00	1,04E+03	5,62E-03
	2,00	7,40	9,80	1,13E+03	1,67E+01	1,13E+03	1,48E-02
	2,00	7,45	9,95	9,84E+02	3,83E+01	9,85E+02	3,89E-02
	průměrné hodnoty			1,02E+03	1,96E+01	1,02E+03	1,90E-02

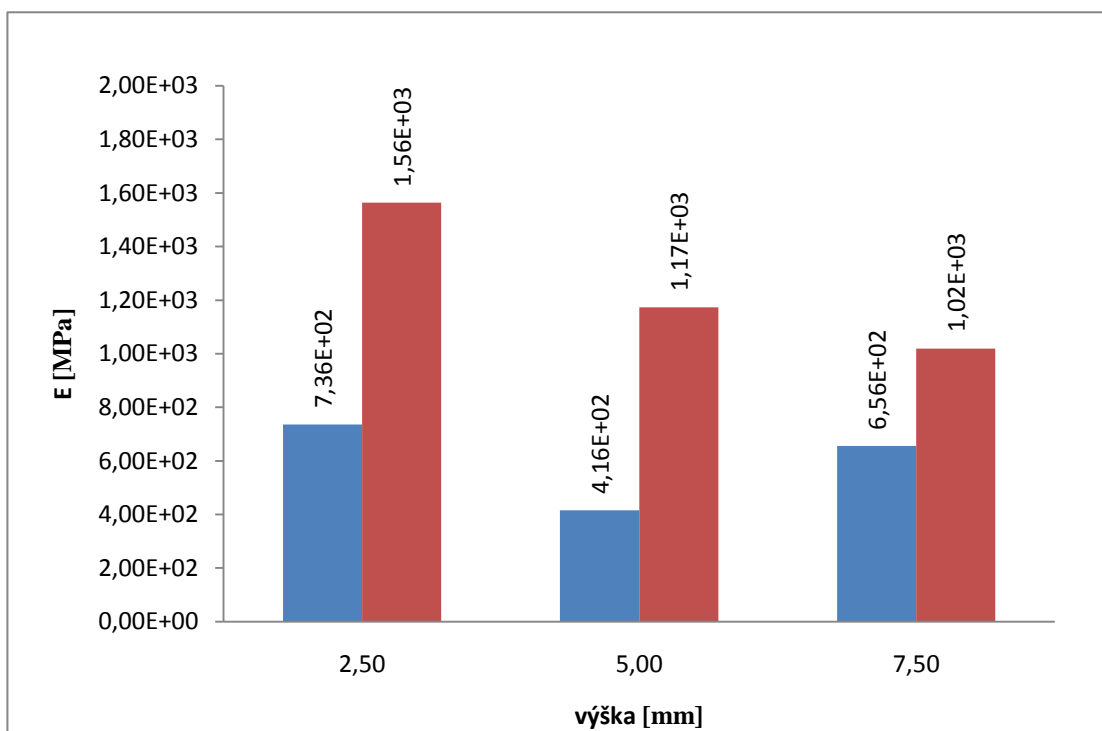
Naměřené hodnoty byly měřeny po dobu 30 minut při pokojové teplotě cca 24°C a byla stanovena frekvence 5 Hz pro měření, která z předchozích měření na stroji DMA DX04T se jevila jako neoptimálnější frekvencí. Při této frekvenci bylo dosaženo nejpřesnějších naměřených hodnot.

6.2. Vyhodnocení závislosti dynamicko - mechanických vlastností na výšce testovaného vzorku

Na obr. 6.1 až 6.4 jsou barevně zobrazeny průměrné naměřené hodnoty. Barevně jsou odlišeny vzorky a to tak že modrou barvu představuje vzorek pouze s jedním vytvrzením a vzorek s opětovným vytvrzením je zobrazen pomocí červené barvy.



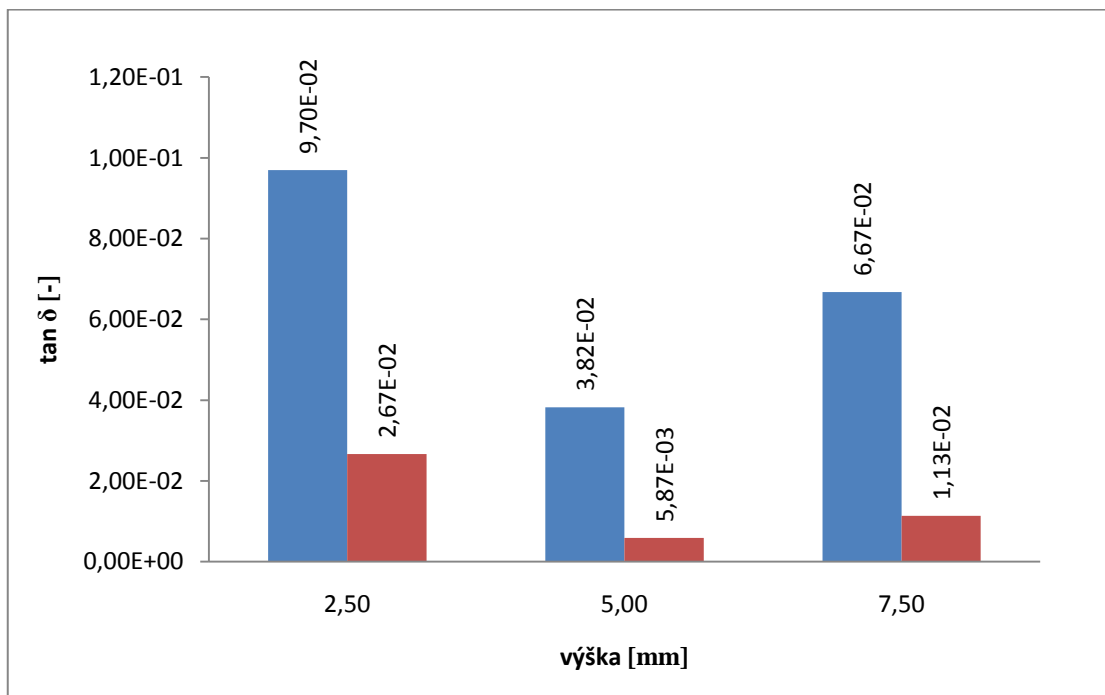
Obr. 6.1: Graf závislosti komplexního modulu pružnosti E na výšce vzorku, pro měření na základní čelisti s jedním a s opětovným vytvrzením.



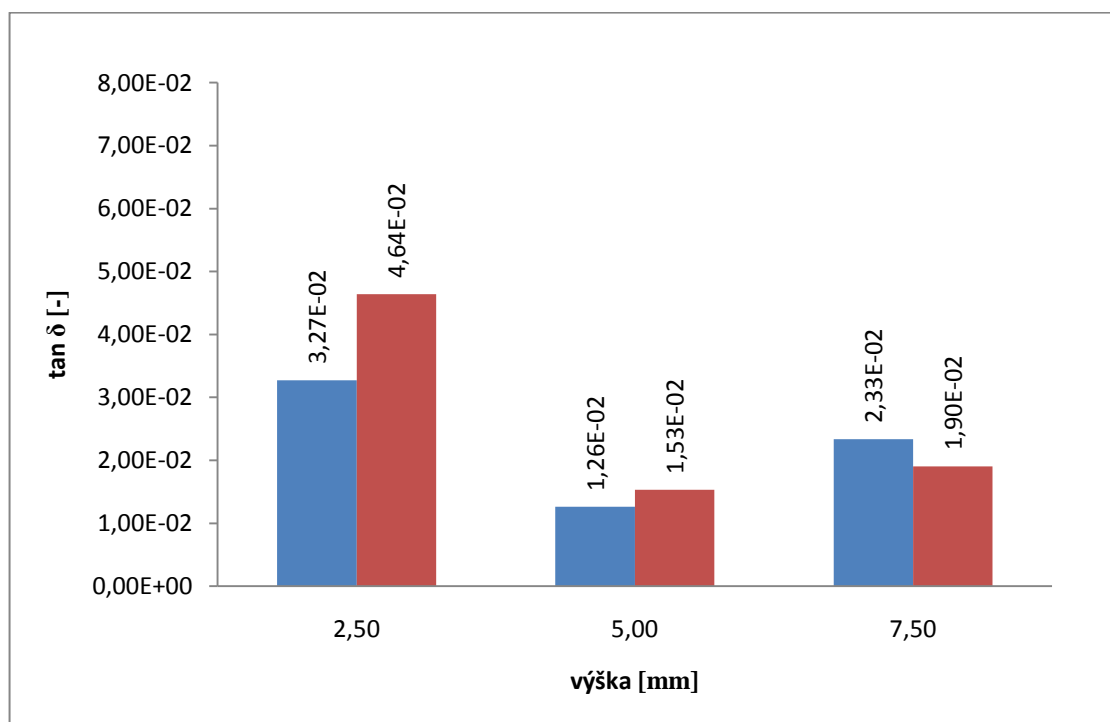
Obr. 6.2: Graf závislosti komplexního modulu pružnosti E na výšce vzorku, pro měření na nové čelisti s jedním a s opětovným vytvrzením

Z grafu 6.1 jsou patrné rozdíly mezi jedním a opětovným vytvrzením vzorku především u výšky vzorku 2,5 a 5 mm. U vzorku s výškou 2,5 mm je rozdíl velmi rapidní a došlo zde k nárůstu 3x většímu oproti jednomu vytvrzení. Naopak u vzorku s výškou 7,5 mm se opětovné vytvrzením neprojevovalo a modul má skoro stejnou hodnotu.

V grafu 6.2 jsou také velké rozdíly mezi vzorkem s jedním a opětovným vytvrzením. Zde se projevilo zvýšení modulu u všech výšek vzorku, ale opět u vzorku s výškou 7,5 mm bylo zvýšení modulu pružnosti nejmenší. Nejvyššího zlepšení jsme dosáhli u vzorku s výškou 2,5 mm.



Obr. 6.3: Graf závislosti ztrátového úhlu $\tan \delta$ na výšce vzorku, pro měření na základní čelisti s jedním a s opětovným vytvrzením



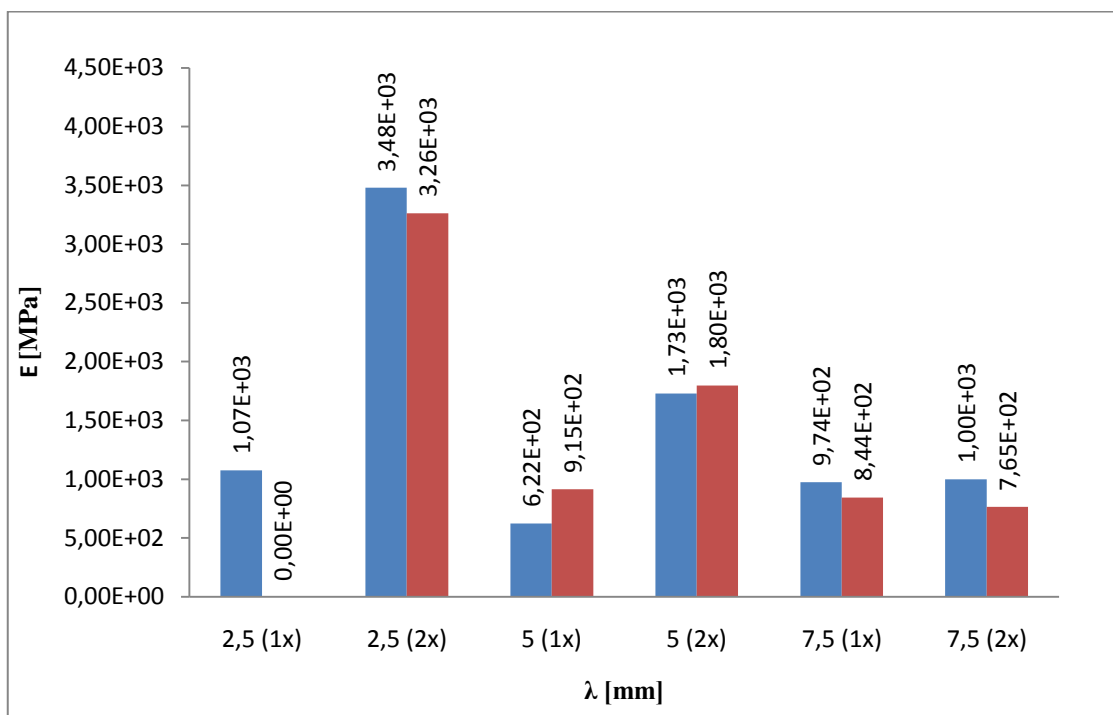
Obr. 6.4: Graf závislosti ztrátového úhlu $\tan \delta$ na výšce vzorku, pro měření na nové čelisti s jedním a s opětovným vytvrzením

U grafu 6.3 je vyobrazen ztrátový úhel v závislosti na výšce vzorku. Měření bylo prováděno na základní čelisti. Nejvyšší ztrátový úhel měl vzorek o výšce 2,5 mm a nejnižší ztrátový úhel byl naměřen u vzorku s výškou 5 mm. K velkému snížení ztrátového úhlu došlo s opětovným vytvrzením. U všech vzorků došlo k šestinásobnému snížení ztrátového úhlu oproti vzorkům pouze jednou vytvrzeným.

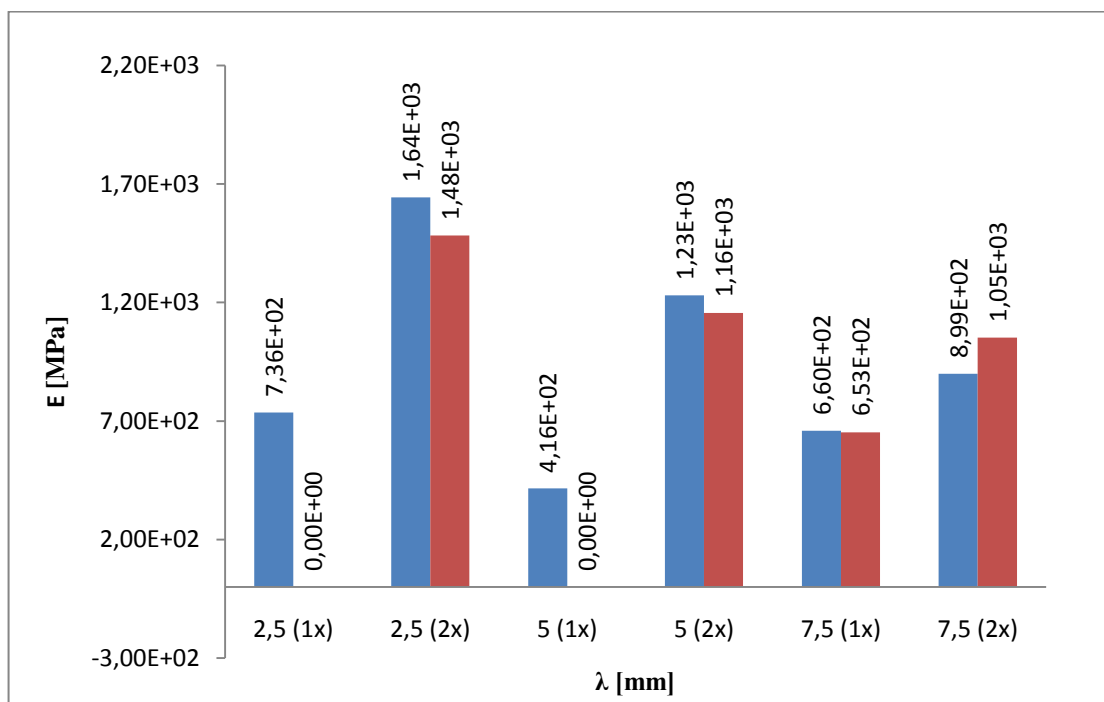
U grafu 6.4 je také vyobrazen ztrátový úhel v závislosti na výšce vzorku. Měření bylo prováděno na novém typu čelisti a jak je vidět graf 6.4 je naprosto odlišný od grafu 6.3. Nižší ztrátový úhel byl naměřen u vzorku o výšce 2,5 mm s jedním vytvrzením a ztrátový úhel se zvýšil s opětovným vytvrzením. U vzorku s výškou 5 mm je ztrátový úhel skoro stejný přesto měl jednou vytvrzený vzorek ztrátový úhel o trochu menší. Opačná situace nastala u vzorku 7,5 mm, kde ztrátový úhel opět klesl s opětovným vytvrzením jako u základní čelisti.

6.3. Vyhodnocení dynamicko - mechanických vlastností v závislosti na změně amplitudy

Na obr. 6.5 a 6.6 jsou porovnávány změny vlastností v závislosti na změně amplitudy, kde amplituda 0,4 mm je zastoupena modrou barvou a amplituda 2 mm je zastoupena červenou barvou.

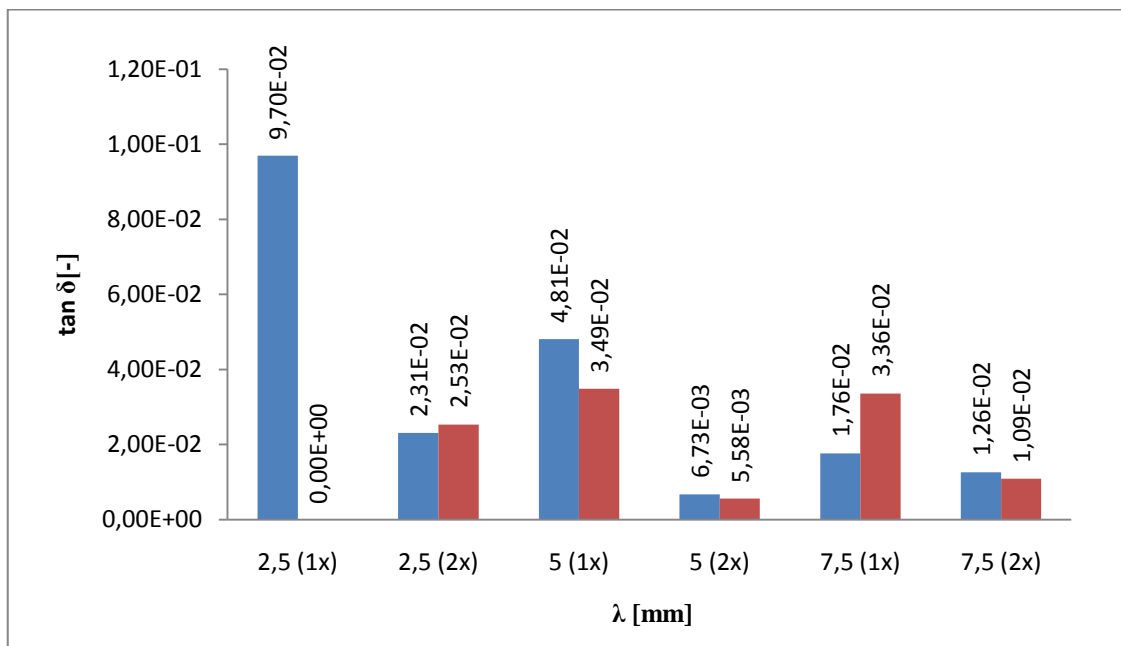


Obr. 6.5: Graf závislosti komplexního modulu pružnosti E na změně amplitudy, pro měření na základní čelisti s jedním a s opětovným vytvrzením.

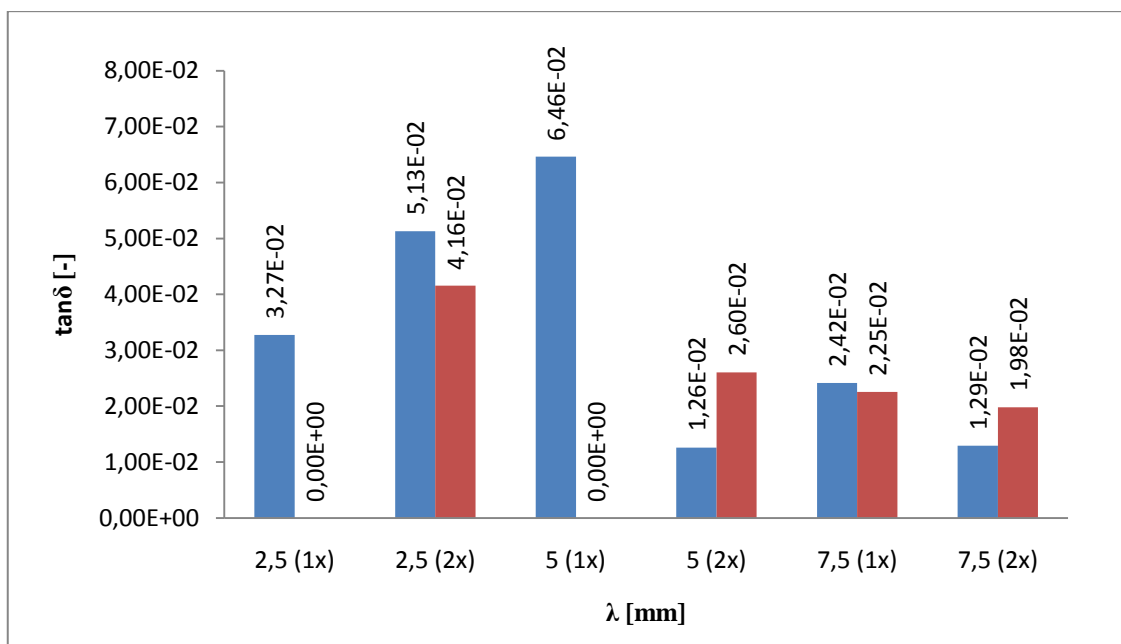


Obr. 6.6: Graf závislosti komplexního modulu pružnosti E na změně amplitudy, pro měření na nové čelisti s jedním a s opětovným vytvrzením.

Grafy 6.5 a 6.6 ukazují, že naměřené hodnoty závislosti komplexního modulu na amplitudě, mezi amplitudou minimální 0,4 mm a amplitudou 2 mm, jsou rozdíly minimální. Největší rozdíl na obr. 6.5 nastal u vzorku 2,5 mm, kde měření pro maximální amplitudu nebylo možné, protože vzorky ihned praskaly. Tento samý jev nastal i u vzorku 2,5 a 5 mm měřených na nové čelisti ani zde totiž nemohla být provedena měření pro maximální amplitudu, vzorky praskaly, jak vyplývá z grafu 6.6. U vzorku 2,5 mm s opětovným vytvrzením jsou porovnány v grafu 6.5 i 6.6 amplitudy 0,4 a 0,8 mm, protože s vyšší amplitudou vzorky ihned praskaly.



Obr. 6.7: Graf závislosti ztrátového úhlu $\tan \delta$ na změně amplitudy, pro měření na nové čelisti s jedním a s opětovným vytvrzením.



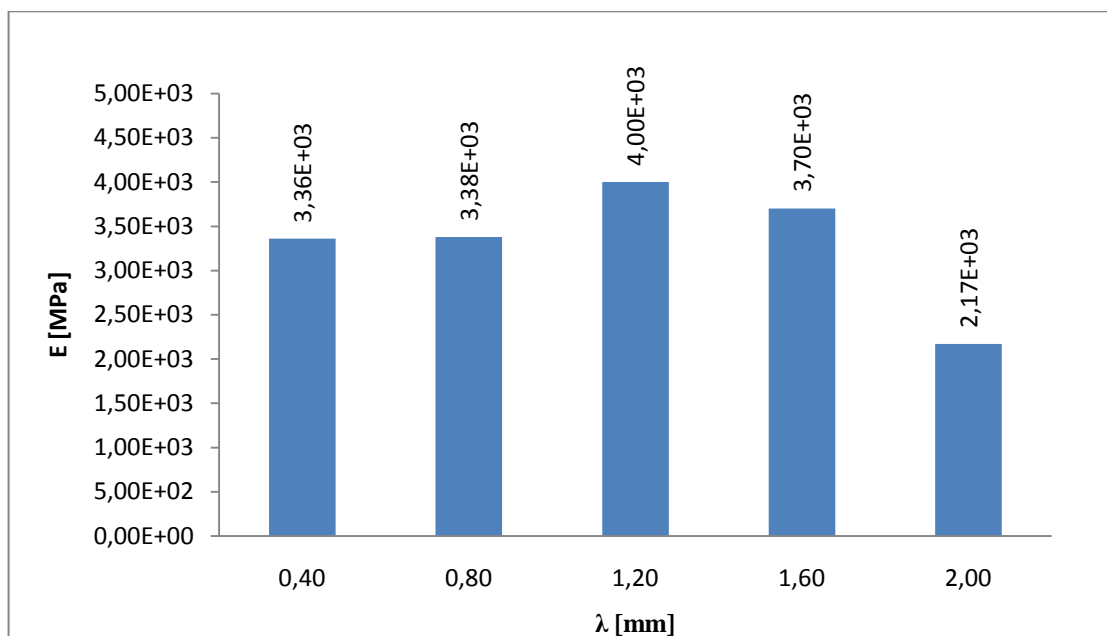
Obr. 6.8: Graf závislosti ztrátového úhlu $\tan \delta$ na změně amplitudy, pro měření na nové čelisti s jedním a s opětovným vytvrzením.

Z grafů 6.7 vyplývá, že kolísavost ztrátového úhlu v závislosti na změně amplitudy je výraznější u vzorku s jedním vytvrzením měřeným na základní čelisti.

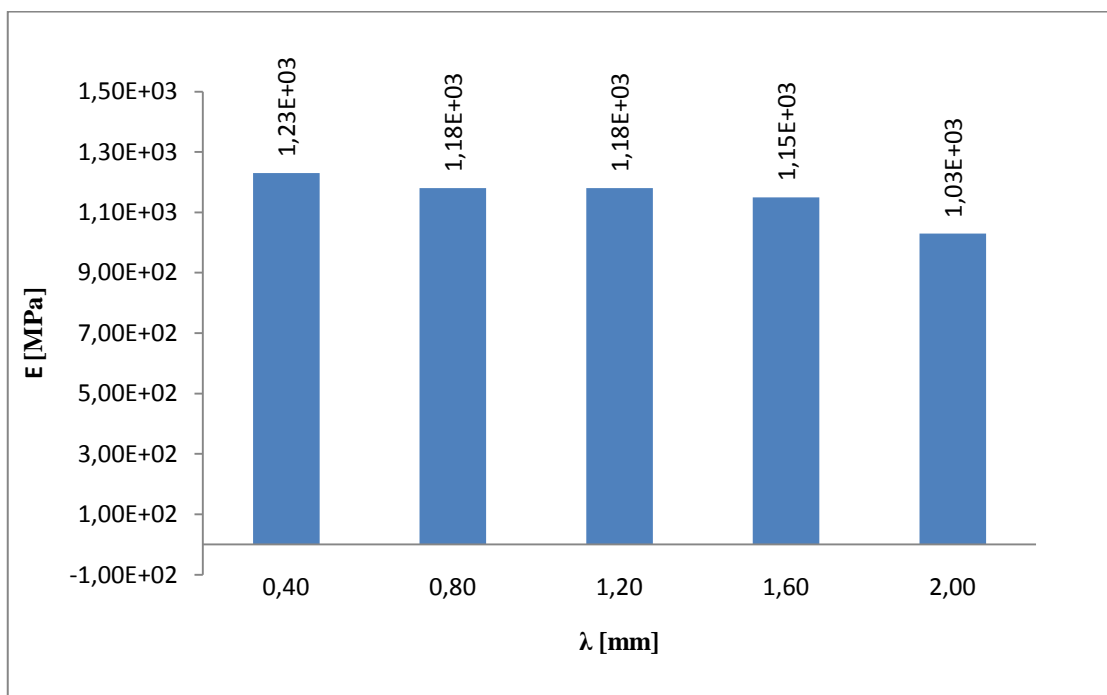
Na grafu 6.8 je patrné, že na nové čelisti se vzorky s výškou 2,5 mm nedají měřit o maximální amplitudě, protože vzorky ihned praskaly. Dokonce vzorek o výšce 5 mm s jedním vytvrzením se dal měřit pouze při amplitudě 0,4 mm. U vzorků s výškou 7,5 mm je rozdíl ve ztrátovém úhlu nejmenší v porovnání amplitudy 0,4 a 2 mm.

6.4. Vyhodnocení vlivu postupně zvyšující se amplitudy

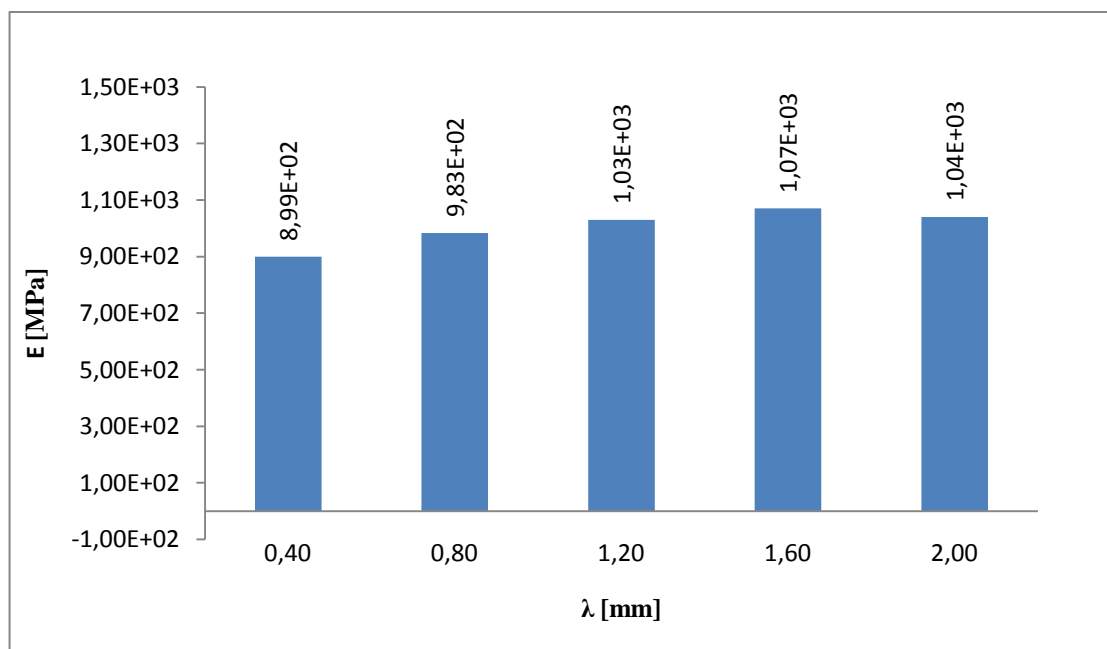
Na grafech je ukázka měření, které bylo prováděno na jednom vzorku. Každá amplituda byla měřena 30 minut. Po uplynutí doby měření byla v programu nastavena vyšší amplituda.



Obr. 6.9: Graf naměřených hodnot stejného vzorku se zvyšující se amplitudou u vzorku s výškou 2,5 mm s opětovným vytvrzením u základní čelisti



Obr. 6.10: Graf naměřených hodnot stejného vzorku se zvyšující se amplitudou u vzorku s výškou 5 mm s opětovným vytvrzením u nového typu čelisti



Obr. 6.11: Graf naměřených hodnot stejného vzorku se zvyšující se amplitudou u vzorku s výškou 7,5 mm s opětovným vytvrzením u nového typu čelisti

Z grafu 6.9 vyplývá z naměřených hodnot, že komplexní modul má stoupající tendenci, ale u poslední amplitudy nejspíš došlo již k porušení vzorku a komplexní modul klesl skoro o polovinu.

U grafu 6.10 má komplexní modul stoupající tendenci ale u grafu 6. 11 má graf klesající tendenci, ale rozdíl nebyly velké, proto byly některé mezi stupně u některých druhů vzorků vynechány.

6.5. Detailní pohled na lom vzorků



Obr. 6.12: Detailní pohled na lom vzorku 2,5 mm s jedním vytvrzením



Obr. 6.13: Detailní pohled na lom vzorku 2,5 mm s opětovným vytvrzením



Obr. 6.14: Detailní pohled na lom vzorku 5 mm s jedním vytvrzením



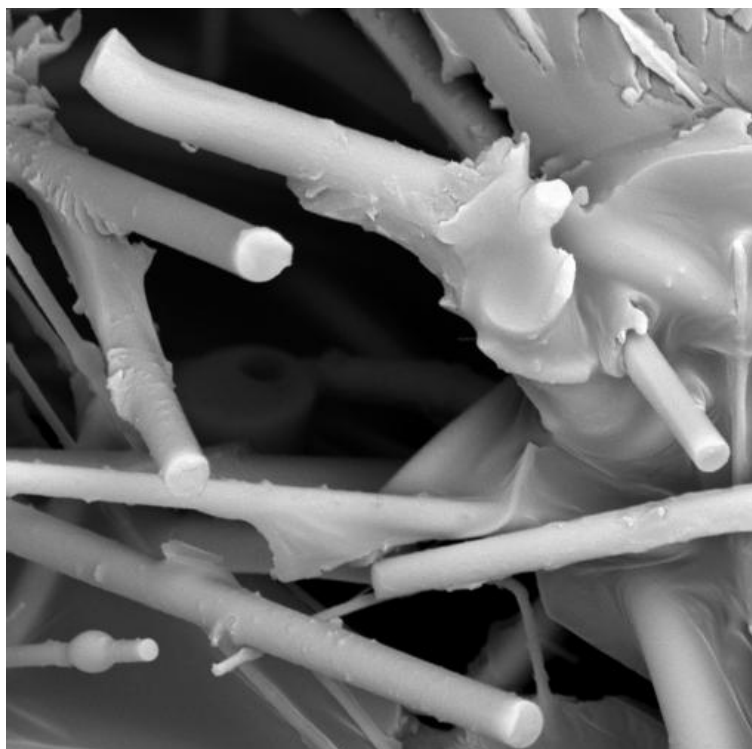
Obr. 6.15: Detailní pohled na lom vzorku 5 mm s opětovným vytvrzením



Obr. 6.16: Detailní pohled na lom vzorku 7,5 mm s jedním vytvrzením



Obr. 6.17: Detailní pohled na lom vzorku 7,5 mm s opětovným vytvrzením

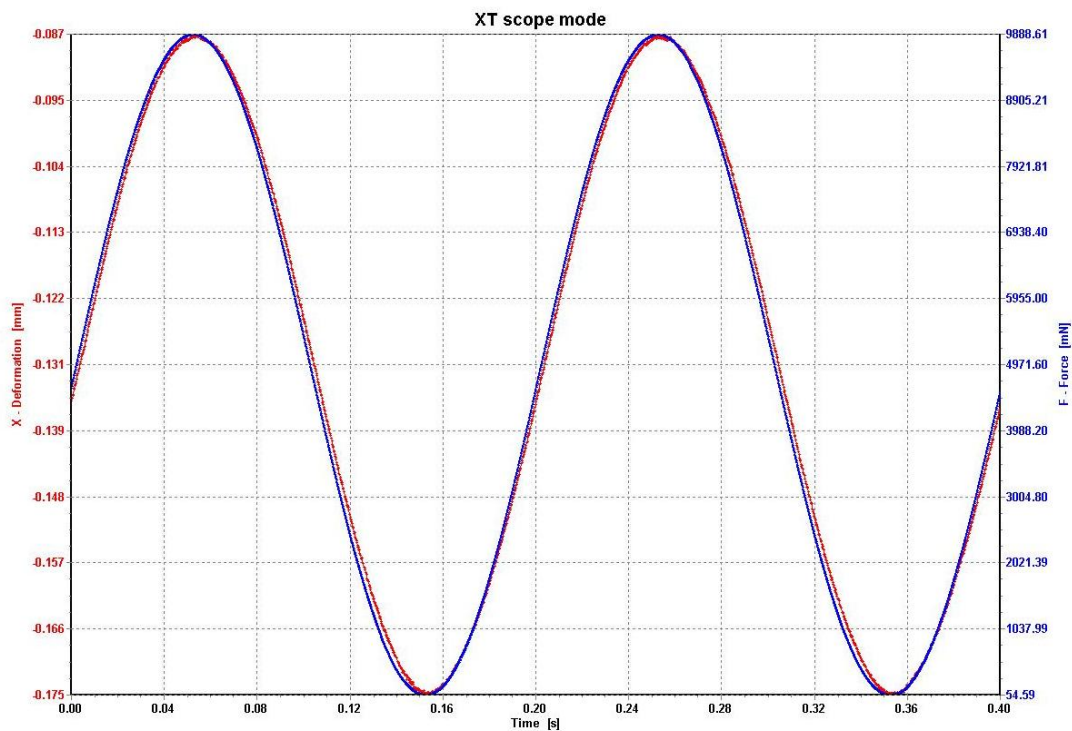


Obr. 6.18: Detailní pohled na lom vlákna

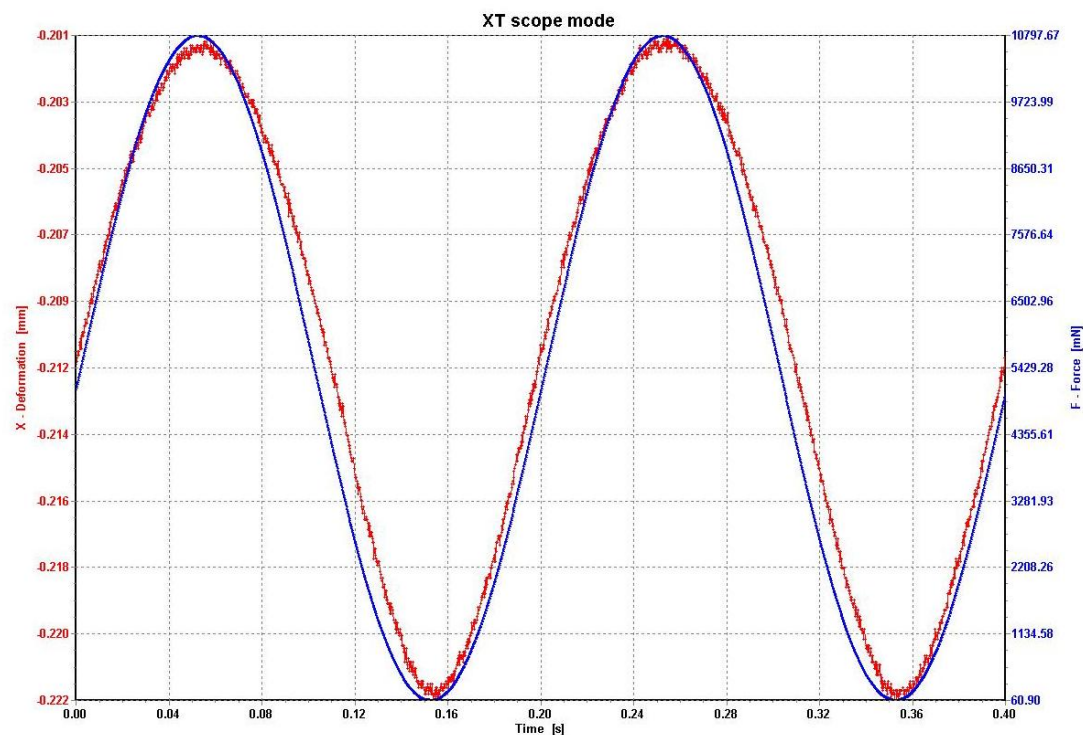
Z obrázku pořízených na rastrovacím elektronovém mikroskopu, který je umístěn v laboratoři KTM je dobře vidět nasycení materiálu Lukosilem M130 na všech vzorcích ve všech výškách.

Na obr. 6.18 je detailně zachycen lom vlákna v kompozitu. Z pořízeného snímku tedy vyplývá, že se vlákna nevytahují ani nekloužou po sobě, ale dochází k lomu vlákna.

6.6. Ukázka grafů z DMA grapher

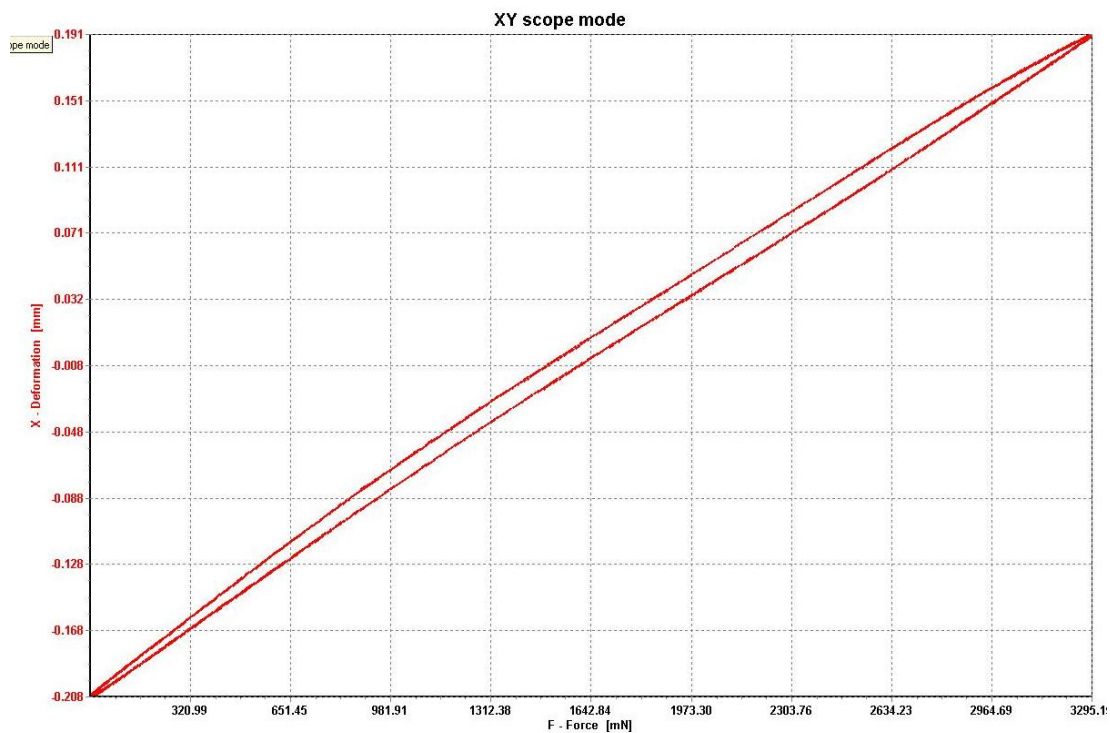


Obr. 6.19: Graf ukazující skutečný průběh síly a deformace na vzorek

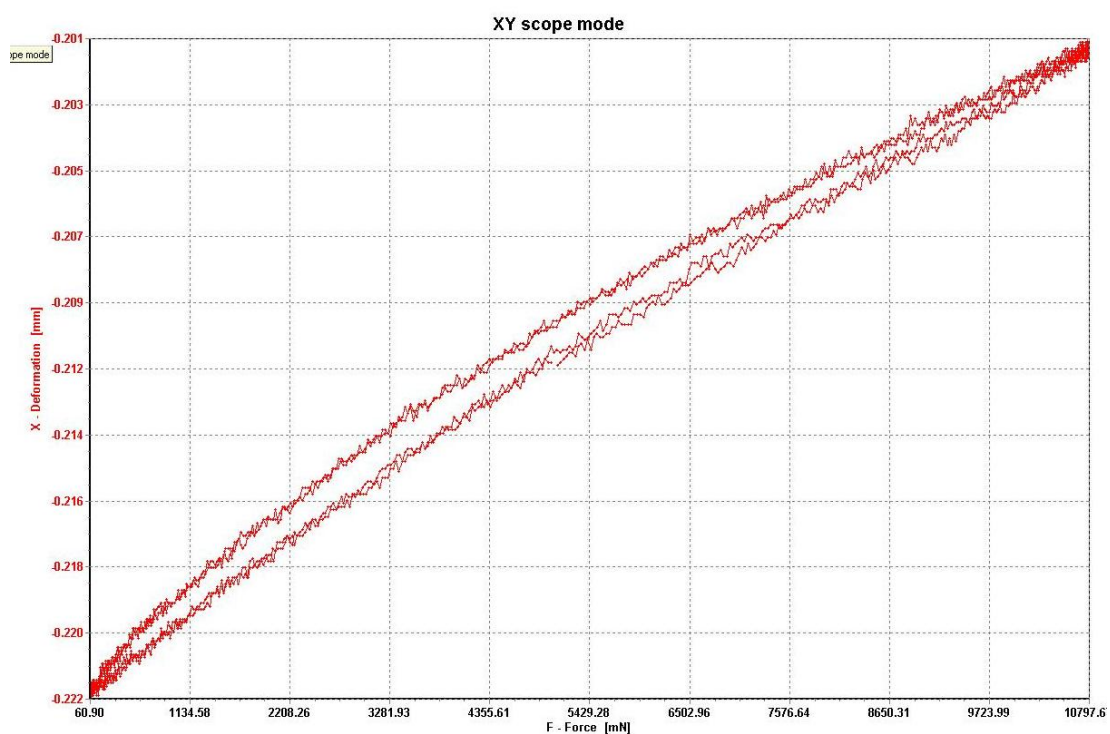


Obr. 6.20: Graf ukazující skutečný průběh síly a deformace na vzorek

VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ Z KRÁTKOVLÁKENNÉHO ČEDIČE
Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Katedra textilních materiálů



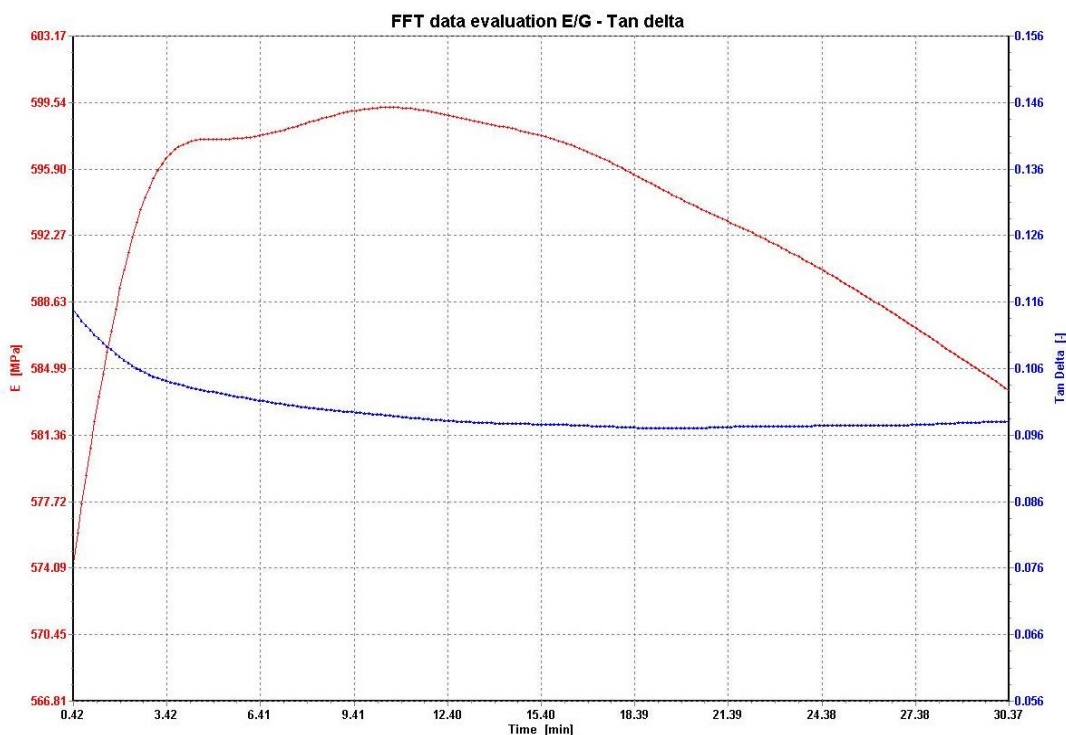
Obr. 6.21: Hysterezní křivka deformace vzorku



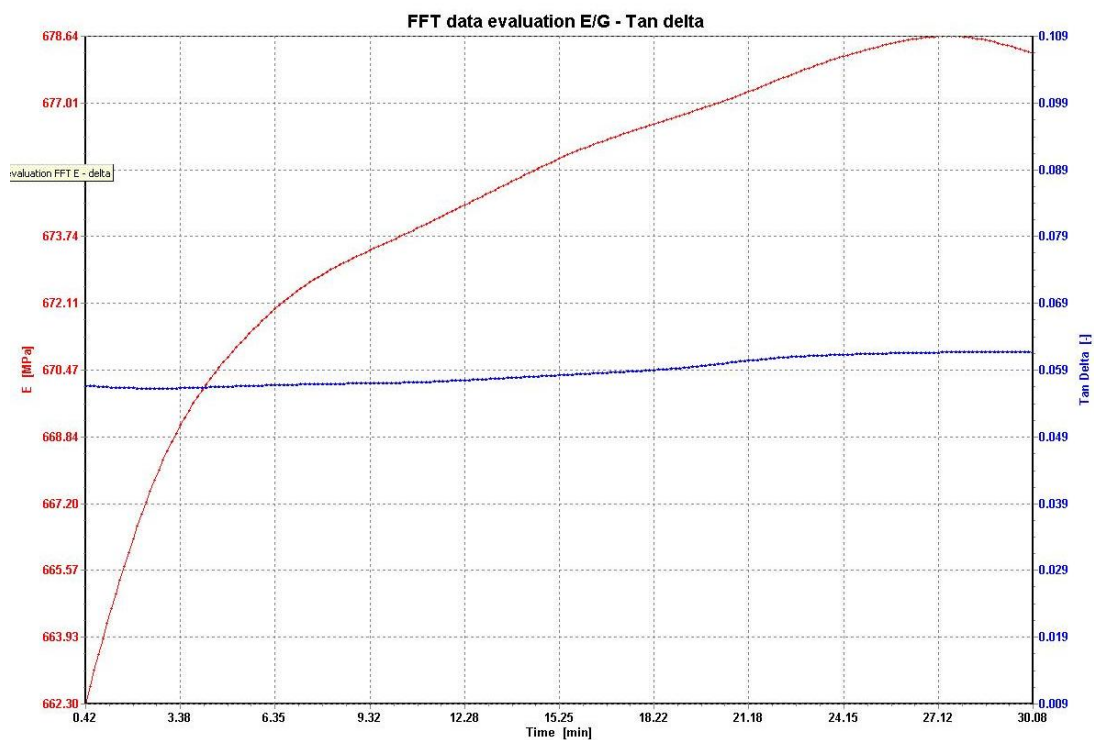
Obr. 6.22: Hysterezní křivka deformace vzorku

Na obr. 6.19 a 6.20 jsou vyobrazeny skutečné průběhy síly a deformace na vzorek. Na průběhu lze snadno detekovat chybné měření z důvodu špatného upnutí, poškození nebo zničení vzorku. Okamžitě prozradí i rezonance při volbě příliš vysoké frekvence, použité k měření. Příklad chybného měření můžeme vidět na obrázku 6.20. Na obr. 6.19 je vidět jak deformace s malým zpožděním reaguje na skutečný průběh síly a to vypovídá o správném průběhu měření. Na obr. 6.20 deformace nemá průběh podobný skutečnému průběhu síly a to dokazuje, že mohly při měření vzniknout odchylky. Tyto odchylky mohou vzniknout při výrobě, v kompozitu nejspíš vznikly dutinky nebo oblasti nedostatečně prosycené matricí - Lukosilu M130, a materiál v tomto místě mohl být více náchylný k prasknutí.

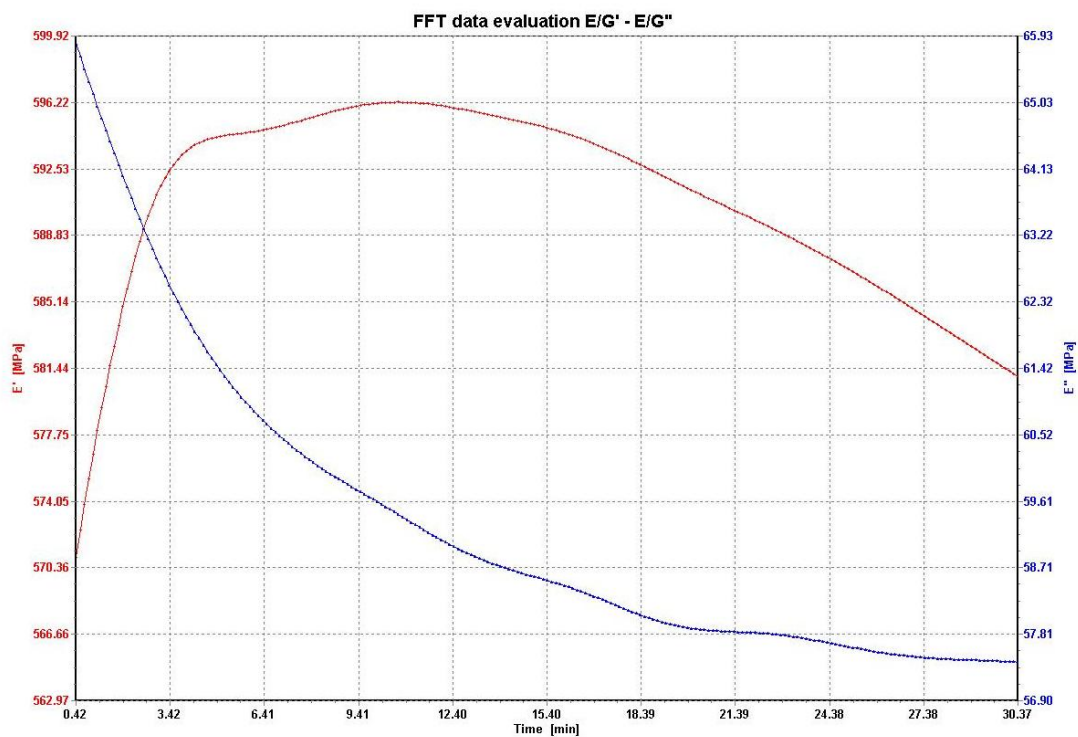
Na obr. 6.21 a 6.22 můžeme vidět průběh hystereze. Hysterezí smyčka slouží jako citlivý detektor nelineární odezvy vzorku. Na obr. 6.21 je správný průběh a na obr. 6.22 nesprávný. Rozkmitání hysterezní křivky ukazuje nedokonalosti materiálu vzniklé při výrobě.



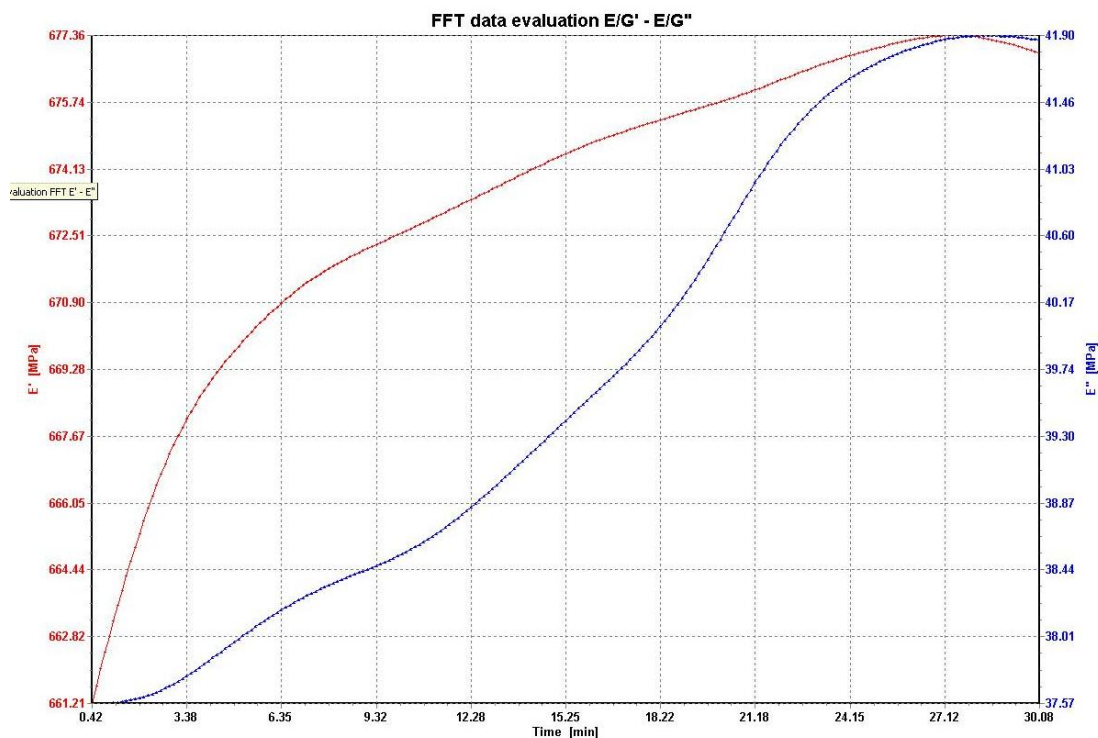
Obr. 6.23: Graf závislosti modulu pružnosti a ztrátového činitele na čase měření –
správné měření



Obr. 6.24: Graf závislosti modulu pružnosti a ztrátového činitele na čase měření – chybné měření



Obr. 6.25: Graf závislosti reálné a imaginární složky modulu pružnosti na čase – správné měření



Obr. 6.26: Graf závislosti reálné a imaginární složky modulu pružnosti na čase – chybné měření

Na obr. 6.23 vidíme průběh závislosti modulu pružnosti a ztrátového činitele na čase pro vhodně zvolené parametry měření, naopak na obr. 6.24 je průběh těchto parametrů pro chybné měření.

Na obr. 6.25 vidíme průběh závislosti reálné a imaginární složky modulu pružnosti na čase pro vhodně zvolené parametry měření, naopak na obr. 6.26 je průběh těchto parametrů pro chybné měření.

Podrobné výsledky měření, grafy závislosti a průběhů měření, ale i další snímky kompozitního materiálu jsou na přiloženém CD.

7. Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo vyrobit a otestovat dynamicko – mechanické vlastnosti kompozitu z odpadového krátkovláknenného čediče získaného od firmy Rasl a syn a. s. Experiment byl proveden takto: odpad byl smíchán spolu s Lukosilem M130 jako matricí a tím vznikla konzistentní směs; napěchováním formy směsí a jejím vytvrzením v peci byla získána kompozitní deska, ze které byly vyrobeny menší vzorky pro měření. Byly měřeny dynamicko – mechanické vlastnosti vzniklých kompozitů, komplexní modul pružnosti, ztrátový úhel, reálná složka modulu pružnosti a imaginární složka modulu pružnosti v závislosti na změně výšky kompozitu a změně amplitudy deformace. Některé vzorky byly opětovně vytvrzeny pro porovnání změny dynamicko – mechanických vlastností.

Měřením na DMA bylo dokázáno, že opětovné vytvrzení má vliv na dynamicko – mechanické vlastnosti materiálu. Největší vliv byl zjištěn u vzorku s nejmenší výškou 2,5 mm, protože stoupl komplexní modul pružnosti a klesl ztrátový činitel. Zvýšení komplexního modulu pružnosti a snížení ztrátového úhlu bylo naměřeno také u vzorku s výškou 5 mm, ale u vzorku s výškou 7,5 mm již navýšení komplexního modulu pružnosti nebylo tak výrazné a z toho tedy vyplývá, že sycení vzorku je nutné zejména u slabších vzorků (do 5 mm). U silnějších vzorků (nad tloušťku 5 mm) se opětovné sycení může vynechat z ekonomických důvodů, aby se zbytečně neprodražila výroba, protože nárůst komplexního modulu pružnosti je nízký.

Porovnání mezi základní čelistí a novým typem čelistí se nejvíce projevuje ve ztrátovém činiteli. Ztrátový činitel stoupl u nového typu čelisti, protože nový typ čelisti více odpovídá namáhání v trojbodém ohybu nežli čelist základní. Základní čelist má konce vzorku upnuté do čelisti a tím mohou být výsledky zkreslené. Naměřené hodnoty komplexního modulu u základní čelisti jsou vyšší, ale to je způsobeno nižším ztrátovým činitelem. Pro další měření trojbodového ohybu na DMA doporučuji měřit na novém typu čelisti, protože čelist více odpovídá trojbodovému ohybu. Konce nejsou upnuté, jsou volně opřené o čelist a nedochází k dalšímu napětí v místech upnutí a tím ke zkreslení naměřených hodnot.

Snížení odchylek v měření by se také dalo docílit dokonalejším pročištěním odpadního materiálu a také kdyby bylo možné vyráběnou desku zalisovat pod tlakem a poté se celá opětovně nasýtila a nechala se vytvrdit.

Práce navazuje na bakalářskou práci J. Horáčka, avšak konstrukce kompozitních materiálů se liší, neboť zde není krycí vrstva kompozitu z čedičové tkaniny, která velmi cenu výsledného produktu zvyšuje. Pokud je dodržen postup a preciznost při výrobě tohoto typu kompozitu, je možné krací textilii v konstrukci vynechat.

Použití nově získaného kompozitního materiálu se nabízí zejména v oblasti izolačních materiálů. Další možné využití je, vzhledem k jejich dobrým dynamicko-mechanickým vlastnostem a nízké měrné hmotnosti, v oblasti stavebnictví pro tvorbu konstrukcí apod.

8. Použitá literatura

- [1] Basalt [online]. [cit. 12.9.2010]. Dostupné na internetu:
<<http://petrol.sci.muni.cz/poznavanihornin/magmatity/bazalt.htm>>
- [2] Kompozitní materiály [online]. [cit. 19.9.2010]. Dostupné na internetu:
<http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/kompozitni_materialy.pdf>
- [3] Kompozity [online]. [cit. 1.10.2010]. Dostupné na internetu:
<<http://www.volny.cz/zkorinek/>>
- [4] Skripta TU Liberec [online]. [cit. 1.10.2010]. Dostupné na internetu:
<<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-11-21/08-48-11.pdf>>
- [5] Skripta TU Liberec [online]. [cit. 12.9.2010]. Dostupné na internetu:
<<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2006-03-16/12-54-35.pdf>>
- [6] R. A. Bareš: Kompozitní materiály, SNTL 1988
- [7] Agarwal, B. D.: Vláknové kompozity SNTL Praha 1987
- [8] Polymerní vláknové kompozity [online]. [cit. 8.10.2010]. Dostupné na internetu:
<<http://www.imaterialy.cz/clanky/plasty-pro-architekturu-a-stavebnictvi-6-recyklace-plastu/2967/plasty-pro-stavebnictvi-a-architekturu-7-polymernivlaknove-kompozity/>>
- [9] Tavené horniny [online]. [cit. 28.11.2010]. Dostupné na internetu:
<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/tavene_horniny.html#pojmy>
- [10] Basaltex [online]. [cit. 25.10.2010]. Dostupné na internetu:
<http://www.basaltex.cz/cedic/cedic_charakteristika_cz.htm#01>
- [11] Lehner, J.: Skleněná, horninová a strusková vlákna, SNTL Praha 1960
- [12] Kunteová P.: Dynamicko-Mechanické vlastnosti kompozitních materiálů s pletenou čedičovou a skleněnou výztuží, Diplomová práce, TU Liberec 2009
- [10] Ptáčková, K.: Geometrické parametry kontinuálních čedičových vláken. Liberec: Diplomová práce, 2007. 68 s.
- [14] Lukosil [online]. [cit. 22.10.2010]. Dostupné na internetu:
<http://www.pzservis.cz/izol_projektanti2/lucebni/lukosilx.htm>
- [15] Lukosil [online]. [cit. 7.10.2010]. Dostupné na internetu:
<http://www.stavochemie.cz/tl/LZK_TL_Lukosil_M130.pdf>
- [16] Manuál přístroje DMA DX04T (1999)

[17] Skripta TU Liberec [online]. [cit. 15.10.2010]. Dostupné na internetu:

<<http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/20060106/prednaska7.pdf>>

[18] Frýdlantské strojírny Rasl a syn A. S. [online]. [cit. 15.10.2010]. Dostupné na internetu: <<http://www.fzystroj.cz>>

9. Seznam příloh

Příloha č. 1: CD s naměřenými hodnotami, grafy, obrázky z DMA, fotografie z rastrovacího fotonového mikroskopu